

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA NGUỒN CARBON ĐẾN
KHẢ NĂNG SINH TỔNG HỢP PHYCOCYANIN VÀ XỬ LÝ
NƯỚC THẢI SINH HOẠT CỦA VI KHUẨN LAM
*SPIRULINA PLATENSIS***

**Nguyễn Thị Thu Bình, Đoàn Thị Oanh*, Lê Văn Dũng
Nguyễn Thành Trung, Vũ Thị Mai, Lê Kiều Anh, Đào Tuấn Đạt
Vũ Đình Hoàng, Bùi Thị Thanh Thủy, Bùi Phương Thủy**
Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Tóm tắt

*Sự kết hợp đồng thời xử lý nước thải sinh hoạt và sản xuất phycocyanin bằng vi khuẩn lam *Spirulina platensis* được coi là một phương pháp tiếp cận đầy hứa hẹn theo hướng kinh tế tuần hoàn. Để tăng cường xử lý nước thải và khả năng sinh tổng hợp phycocyanin của vi khuẩn lam, ảnh hưởng carbon hữu cơ đối với sự phát triển và loại bỏ chất dinh dưỡng của *Spirulina platensis* đã được nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu cho thấy hàm lượng phycocyanin đạt cao nhất là 82,54 mg/L ở nghiệm thức nước thải sinh hoạt giả định có bổ sung glucose. Hiệu quả loại bỏ $N-NH_4^+$, $P-PO_4^{3-}$, T-P và COD lần lượt là 92 %, 81 %, 71 % và 81 % sau 12 ngày nghiên cứu. Công trình này cũng cho thấy rằng *Spirulina platensis* có thể được sử dụng để đồng thời giảm các chất ô nhiễm hữu cơ, loại bỏ N, P và tích tụ phycocyanin.*

Từ khóa: Nước thải sinh hoạt; Phycocyanin; *Spirulina platensis*; Xử lý nước thải; Vi khuẩn lam.

Abstract

The effect of carbon sources on the ability to synthesize phycocyanine and treat domestic wastewater of *Spirulina platensis*

*The simultaneous treatment of domestic wastewater and phycocyanine production by the cyanobacterium *Spirulina platensis* is considered a promising approach towards the circular economy. To enhance wastewater treatment and phycocyanine biosynthesis by cyanobacteria, the effects of organic carbon on the growth and nutrient removal of *Spirulina platensis* were investigated. The results showed that the highest phycocyanine content was 82.54 mg/L in the domestic wastewater treatment with glucose. The removal efficiencies of $N-NH_4^+$, $P-PO_4^{3-}$, T-P, and COD were 92 %, 81 %, 71 %, and 81 %, respectively, after 12 days of study. This work also showed that *Spirulina platensis* could reduce organic pollutants simultaneously, remove N and P, and accumulate phycocyanine.*

Keywords: Domestic wastewater; Phycocyanine; *Spirulina platensis*; Wastewater treatment; Cyanobacteria.

BBT nhận bài: 14/02/2025; Phản biện xong: 05/3/2025; Chấp nhận đăng: 26/3/2025

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

DOI: <http://doi.org/10.63064/khtnmt.2025.672>

1. Đặt vấn đề

Lượng nước thải sinh hoạt tăng lên cùng với sự gia tăng dân số. Nước thải chứa một lượng lớn chất dinh dưỡng hữu cơ và vô cơ, gây mất cân bằng hệ sinh thái với nhu cầu oxy sinh học và hóa học cao (BOD & COD). Sự hiện diện của các chất dinh dưỡng dư thừa như nitơ (N) và photpho (P) sẽ gây ra hiện tượng phú dưỡng các vùng nước. Khi nước thải sinh hoạt chưa qua xử lý thải ra môi trường, nó sẽ gây thiệt hại nghiêm trọng đến môi trường xung quanh và sức khỏe con người. Tuy nhiên, theo một góc độ khác, nước thải giàu chất hữu cơ và chất dinh dưỡng cũng được sử dụng như 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 nhà nghiên cứu. Hơn nữa, 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 photpho (P),... chiếm hơn 80 % lượng nước thải quốc gia [18]. Hiện nay, các công nghệ xử lý nước thải đô thị truyền thống, chủ yếu bao gồm quy trình bùn hoạt tính thông thường, quy trình lò phản ứng mẻ tuần tự, quy trình kỵ khí - hiếu khí,... có thể loại bỏ COD hiệu quả, nhưng việc sử dụng N và P thường không đủ [10]. Ngoài ra, mặc dù các công nghệ này cho phép loại bỏ hiệu quả carbon (C), N và P khỏi nước thải thông qua quá trình phân hủy oxy hóa của vi khuẩn, các sản phẩm vô cơ chứa C và N được thải ra khí quyển và P được chuyển thành kết tủa hoặc chuyển thành bùn hoạt tính, dẫn đến lãng phí tài nguyên và thậm chí là hiện tượng nóng lên toàn cầu [1]. Làm thế nào để kết hợp nước thải sinh hoạt đô thị với việc sử dụng toàn diện các nguồn tài nguyên đã

trở thành một vấn đề cấp bách cần được giải quyết. Trong những năm gần đây, các nhà nghiên cứu đã đưa ra khái niệm phát triển bền vững các nguồn tài nguyên nước thải. Nghiên cứu về xử lý nước thải sinh hoạt đô thị đã dần tập trung vào việc tái chế tài nguyên. Đặc biệt là xử lý nước thải bằng phương pháp sinh học kết hợp với thu hồi sinh khối đã thu hút được sự quan tâm rộng rãi [21].

Spirulina platensis được biết đến như một loài vi khuẩn lam có khả năng sinh trưởng nhanh, được ứng dụng rộng rãi trong công nghệ sinh học, đặc biệt là trong xử lý nước thải. *Spirulina platensis* là một trong những loài vi khuẩn lam quang tự dưỡng lâu đời nhất, được đặt tên theo hình xoắn ốc. Sinh khối vi khuẩn lam chứa nhiều thành phần như protein, carbohydrate, các sắc tố,... có tiềm năng thương mại đầy hứa hẹn [19]. Tảo xoắn có nhiều ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như thực phẩm bổ sung, thức ăn chăn nuôi, mỹ phẩm và chất tạo màu tự nhiên [13]. Trên thực tế, nhiều quốc gia đã bắt đầu cấm hoặc hạn chế sản xuất chất tạo màu tổng hợp do nhiều tác động xấu đến sức khỏe như tăng tỷ lệ tử vong, chậm phát triển, giảm lượng thức ăn tiêu thụ và tỷ lệ sinh sản trong thời gian dài [16]. Do đó, các ngành công nghiệp phải tìm kiếm nhiều loại màu tự nhiên để thay thế màu tổng hợp. Sinh khối *Spirulina* đã được thương mại hóa vì sắc tố xanh mạnh của nó là phycocyanin, có thể là chất thay thế cho chất tạo màu tự nhiên trong nhiều ngành công nghiệp. Một trong những nhược điểm chính trong nuôi cấy *Spirulina* vẫn nằm ở chi phí cao của môi trường nuôi cấy dựa trên hóa chất. Nhiều

công ty đang sử dụng môi trường nuôi cấy dựa trên hóa chất hiện đại như môi trường Zarrouk, Conway và Kosaric để nuôi cấy *Spirulina*. Tuy nhiên, tổng chi phí của môi trường nuôi cấy Zarrouk không bền vững trong thời gian dài vì chi phí cho mỗi lít môi trường nuôi cấy là khoảng 0,08 đô la Mỹ, chiếm khoảng 35 % tổng chi phí sản xuất sinh khối vi khuẩn lam [22]. Do đó, việc giảm chi phí trong quá trình nuôi loài vi khuẩn lam này là vấn đề đáng được quan tâm. Tận dụng nước thải sinh hoạt làm nguồn dinh dưỡng cho vi khuẩn lam sinh trưởng, sinh tổng hợp phycocyanin là hướng đi mới vừa có ý nghĩa trong việc giải quyết vấn đề ô nhiễm môi trường nước, vừa góp phần thu hồi sinh khối có giá trị kinh tế. Mặt khác, trong quá trình sinh trưởng của vi khuẩn lam, một số yếu tố có thể ảnh hưởng đến sự sinh trưởng của chúng, có thể kể đến như: Nguồn và các nồng độ dinh dưỡng (C, N và P), các điều kiện môi trường (pH, ánh sáng, nhiệt độ,...). Một số nghiên cứu đã khắc phục hạn chế này bằng cách sử dụng carbon hữu cơ như một chiến lược làm tăng tốc độ tăng trưởng. Bên cạnh đó, một số tác giả đã báo cáo sự gia tăng đáng kể về tốc độ tăng trưởng của vi khuẩn lam, sinh khối khi bổ sung carbon hữu cơ, như glucose, dextrose, glycerol và acetate [15]. Chính vì vậy, trong nghiên cứu này, vi khuẩn lam *Spirulina platensis* đã được nuôi trong nước thải sinh hoạt và được bổ sung các nguồn carbon khác nhau. Mục đích của nghiên cứu này là mong muốn lựa chọn được nguồn carbon thích hợp để *Spirulina platensis* vừa có khả năng sinh tổng hợp phycoanin tốt và vừa xử lý nước thải sinh hoạt hiệu quả.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

2.1.1. Spirulina platensis

Chủng vi khuẩn lam *Spirulina platensis* được cung cấp từ bộ sưu tập vi khuẩn lam 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 khuẩn lam được bảo quản và nuôi trong môi trường Zarrouk. Độ pH ban đầu của môi trường được duy trì ở giá trị 8,0. Vi khuẩn lam 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 giả định

Nước thải sinh hoạt giả định có chứa N-NH₄⁺: 50 mg/L, P-PO₄³⁻: 8 mg/L, COD: 300 mg/L.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Bố trí thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, vi khuẩn lam được bổ sung vào 2 L nước thải sinh hoạt giả định có chứa N - NH₄⁺: 50 mg/L, P - PO₄³⁻: 8 mg/L, COD: 300 mg/L; Mật độ tảo ban đầu 1,5 g/L, pH đầu vào là 8, được sục khí trong 8 h, cường độ chiếu sáng 5000 lux, nhiệt độ dao động từ 20 - 22 °C, thời gian nuôi cấy 12 ngày. Các nguồn carbon được sử dụng trong nghiên cứu này CH₃COONa.3H₂O (CT1), C₆H₁₂O₆ (CT2), C₃H₅NaO₂ (CT3) và C₃H₈O₃ (CT4) với khối lượng 0,12 gC/L.

2.3.2. Phân tích mẫu nước thải sinh hoạt

Nghiên cứu này đã đánh giá hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt giả định thông

Nghiên cứu

qua các thông số NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , T - P, P - PO_4^{3-} và COD. Trong đó, thông số NH_4^+ được phân tích theo 4500 NH_3 - F, SMEWW, 1995; Thông số NO_2^- được đánh giá theo TCVN 6178:1996; phương pháp trắc quang dùng thuốc thử axit sunfosalixylic (TCVN 6180-1996) được sử dụng để phân tích thông số NO_3^- ; thông số T - P và P - PO_4^{3-} được phân tích theo TCVN 6202:2008, và phương pháp phân tích COD theo TCVN 6491:1999.

Công thức 1 được sử dụng để đánh giá hiệu suất xử lý nước thải sinh hoạt của vi khuẩn lam:

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

trong đó, H: Hiệu suất xử lý (%); C_0 : 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).

2.3.3. Phương pháp đánh giá sinh trưởng của *Spirulina platensis*

Sinh trưởng của các mẫu vi khuẩn lam *Spirulina platensis* được đánh giá thông qua theo dõi giá trị OD (Optical Density) của dịch nuôi ở bước sóng 445 nm bằng máy Ultrospec 2000 UV/Visible Spectrophotometer [12].

2.3.4. Phương pháp phân tích phycocyanin của *Spirulina platensis*

Để xác định phycocyanin, 5 mL nuôi cấy tảo đã được lấy ra và lọc. Các mẫu sinh khối được đông lạnh ngay lập tức cho đến khi phân tích. Sau khi rã đông, các tế bào được phá vỡ bằng cách rã đông và phycocyanin được chiết xuất bằng cách tái huyền phù sinh khối trong 5 - 10 mL đệm phosphat 0,1 M (pH = 6,8) và ủ trong 24 giờ ở nhiệt độ phòng. Huyền phù thu được được ly tâm (3000 vòng/phút, 10

phút) và mật độ quang học của phần chất lỏng trong được đo ở 615 và 652 nm.

Nồng độ phycocyanin (mg/mL) được tính bằng cách sử dụng công thức (2) do Bennett và Bogorad (1973) [2] thiết lập:

$$C_{PC}^* \text{ (mg/mL)} = \frac{(\text{OD}_{615} - 0,474 \times \text{OD}_{652})}{5,34} \quad (2)$$

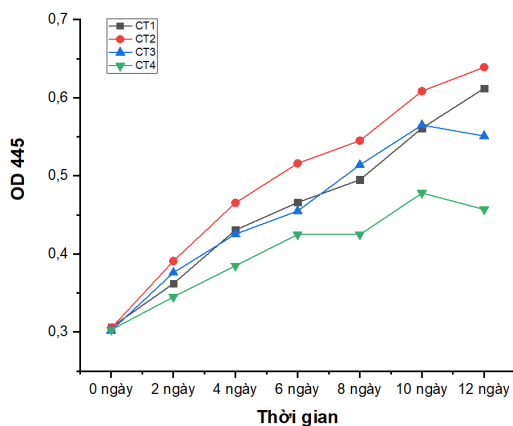
$$C_{PC} \text{ (mg/g)} = C_{PC}^* \cdot V/m$$

trong đó: V là thể tích mẫu phân tích (mL); m là khối lượng mẫu phân tích (g).

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Ảnh hưởng của nguồn carbon đến khả năng sinh trưởng của vi khuẩn lam *Spirulina platensis*

Đối với vi khuẩn lam *Spirulina platensis*, nguồn carbon đóng vai trò quan trọng đặc biệt trong quá trình sinh trưởng. Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu đã đánh giá ảnh hưởng của nguồn carbon lên khả năng xử lý nước thải sinh hoạt giả định và khả năng sinh tổng hợp Phycocyanin của vi khuẩn lam *Spirulina platensis*.



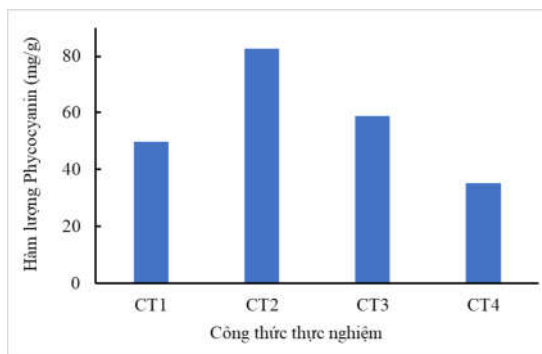
Hình 1: Sự sinh trưởng của vi khuẩn lam *Spirulina platensis* ở các nguồn carbon khác nhau

Đường cong tăng trưởng của chủng *Spirulina platensis* trong nước thải sinh hoạt giả định có bổ sung với các nguồn

carbon khác nhau được thể hiện ở Hình 1. Các dữ liệu nghiên cứu cho thấy tất cả các nguồn carbon bổ sung đều thúc đẩy sự phát triển sinh khối và nồng độ tế bào cao hơn 1,5 - 2 lần so với ngày đầu tiên. Trong đó, ở nghiệm thức CT2 bổ sung glucose, sinh trưởng của vi khuẩn lam đạt mức cao nhất ($OD_{445} = 0,639$), cao hơn khoảng 1,4 lần so với CT4 sử dụng nguồn carbon là glycerol ($OD_{445} = 0,457$). Không có sự khác biệt về sinh trưởng của vi khuẩn lam *Spirulina platensis* ở hai nghiệm thức CT1 và CT3 ($p > 0,05$). Nghiên cứu của [4] cũng cho thấy tốc độ tăng trưởng cao nhất của *S. platensis* được quan sát thấy sau 4 ngày nuôi cấy trong điều kiện có glucose, fructose và succinate. Một số nghiên cứu cũng cho kết quả tương đồng khi bổ sung glucose vào môi trường nuôi cũng nhận được sự sinh trưởng tốt nhất của vi khuẩn lam *Anabaena* [6, 17].

3.2. Ảnh hưởng của nguồn carbon đến khả năng sinh tổng hợp phycocyanin của vi khuẩn lam *Spirulina platensis*

Các kết quả nghiên cứu cho thấy hàm lượng phycocyanin (PC) sau 12 ngày nghiên cứu ở các nghiệm thức bổ sung glucose, natri axetat, natri propionat và glycerol có sự khác biệt. Nồng độ PC cao nhất thu được đối với nghiệm thức bổ sung glucose, đạt 82,54 mg/g. Ngược lại, nuôi cấy trong nghiệm thức bổ sung glycerol CT4 cản trở quá trình sản xuất của nó, hàm lượng PC chỉ đạt 35,29 mg/g, thấp hơn 2,3 lần so CT2. Các nồng độ PC đáng kể khác thu được từ natri axetat (CT1) với 49,78 mg/g và natri propionat (CT3) với 58,90 mg/g. Hàm lượng PC ghi nhận từ hai nghiệm thức CT1 và CT3 không cho thấy sự khác biệt đáng kể.



Hình 2: Ảnh hưởng của nguồn carbon lên khả năng sinh Phycocyanin của vi khuẩn lam *Spirulina platensis*

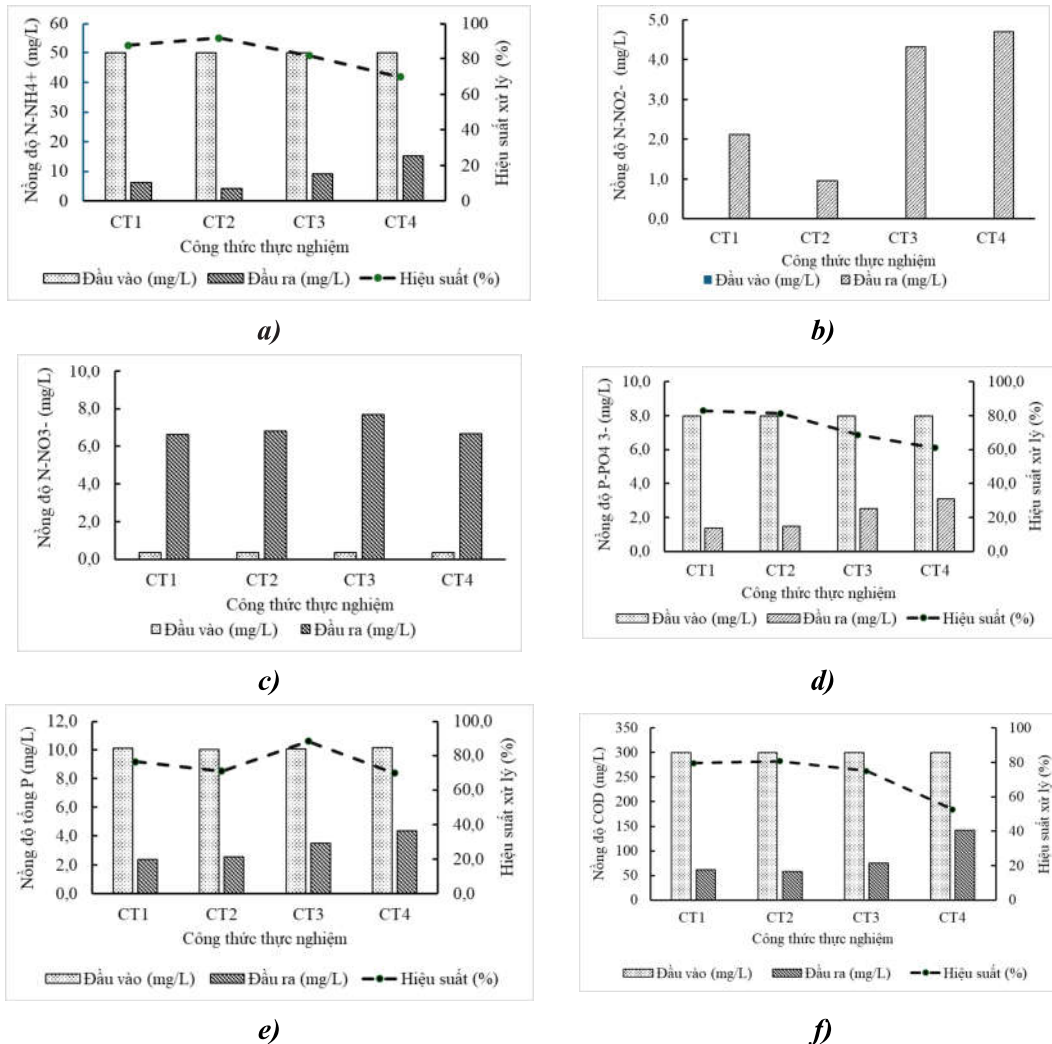
Kaushal và cộng sự (2017) [5], sử dụng *Nodularia sphaerocarpa*, phát hiện ra rằng môi trường nuôi cấy cơ bản (Chu-10) cộng với 0,5 % glucose có thể làm tăng nồng độ PC khoảng 1,9 lần so với môi trường đối chứng. Trong công trình do Cottas và cộng sự (2020) [3] thực hiện sử dụng *Anabaena variabilis* và phân tích việc bổ sung glucose và natri nitrat, chứng minh rằng môi trường chỉ bổ sung glucose có thể đạt được nồng độ PC là 77,68 mg/g trong 10 ngày nuôi cấy. So sánh công trình này với các tài liệu, có thể thấy rằng loài vi khuẩn lam cũng là một biến số cần xem xét khi đánh giá sản xuất PC và loài này có thể biểu hiện các quá trình chuyển hóa khác nhau tùy theo thành phần của môi trường nuôi cấy và loại nguồn carbon hữu cơ bổ sung [14], dẫn đến sản xuất các chất chuyển hóa khác nhau. Việc sản xuất PC chỉ với một biến số, nguồn carbon, là một bước tiến tới các giai đoạn trong tương lai với sự kết hợp của một số yếu tố ảnh hưởng đến sản xuất phycocyanin, chẳng hạn như độ pH của môi trường, việc bổ sung các nguồn nitơ, nguồn phot pho, quang kỳ, cường độ ánh sáng.

Nghiên cứu

3.3. Ảnh hưởng của nguồn carbon đến khả năng xử lý nước thải sinh hoạt của vi khuẩn lam *Spirulina platensis*

Carbon hữu cơ dưới dạng glucose có ảnh hưởng mạnh đến khả năng loại bỏ các chất dinh dưỡng vô cơ khỏi nước thải sinh hoạt giả định của *Spirulina platensis*. Trong trường hợp N - NH₄⁺, đây là dạng nitơ dồi dào nhất thường có trong nước thải sinh hoạt. Hình 3a thể hiện sự thay đổi của N - NH₄⁺ trước và sau quá trình xử lý nước thải sinh hoạt giả định bằng *Spirulina platensis*. Ở nghiệm thức CT1 và CT2, không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về hiệu suất xử lý N - NH₄⁺. Ở

cả hai thí nghiệm này, hiệu suất xử lý N - NH₄⁺ khá cao 88 - 92 %, nồng độ N - NH₄⁺ giảm nhanh từ nồng độ ban đầu là 50 mg/L xuống 4,1 - 6,2 mg/L. Tiếp theo đó là nghiệm thức CT3 bổ sung natri propionat, hiệu suất xử lý N - NH₄⁺ cũng lên tới 82 %. Ngược lại, trong ở nghiệm thức CT4 có bổ sung glycerol hiệu suất xử lý N - NH₄⁺ đạt thấp chỉ khoảng 69,73 %. Điều này có thể cho thấy sự giảm đáng kể nồng độ N - NH₄⁺ được quan sát thấy trong phương pháp xử lý nước thải sinh hoạt bằng *Spirulina platensis* là kết quả trực tiếp của việc bổ sung carbon hữu cơ (dưới dạng glucose) vào nước thải.



Hình 3: Khả năng xử lý nước thải sinh hoạt của vi khuẩn lam *Spirulina platensis*

Trong xử lý nước thải, quá trình xử lý N - NH_4^+ cũng diễn ra thông qua quá trình chuyển đổi thành NO_2^- , sau đó thành NO_3^- và N_2 bằng cách nitrat hóa và khử nitrat tương ứng. Cả nồng độ N - NO_2^- và N - NO_3^- đều luôn nằm trên ranh giới giới hạn phát hiện trong tất cả các mẫu nghiên cứu từ khi bắt đầu và kéo dài các thí nghiệm này (Hình 3b và 3c). Nồng độ P - PO_4^{3-} đã giảm mạnh trong các mẫu nước thải sau xử lý, với hiệu suất cao nhất ở công thức sử dụng natri axetat với 83 % và tiếp theo là nghiệm thức được bổ sung glucose với 81 % (Hình 3d). Đáng chú ý, đây là tỷ lệ được ghi nhận tương tự với các nghiên cứu trước đây sử dụng vi khuẩn lam [20]. Hiệu quả loại bỏ P có thể bị ảnh hưởng bởi cả các yếu tố phi sinh học và sinh học. Ví dụ, trong môi trường pH khoảng 9 trở lên, PO_4^{3-} kết tủa do phản ứng hóa học với các cation trong dung dịch, chủ yếu là các ion magiê và canxi. Hiệu quả chính xác của hiện tượng này phụ thuộc vào nồng độ phốt pho và cation, cũng như nhiệt độ [7]. Hình 3f cho thấy sự biến động của nồng độ COD ở từng thí nghiệm sau 12 ngày nuôi cấy. Ở công thức 4 bổ sung glycerol nồng độ chỉ giảm nhẹ xuống còn từ 300 mg/L còn 142 mg/L, với hiệu suất thấp nhất chỉ đạt 53 %. Tuy nhiên, ở các nghiệm thức bổ sung glucose, natri axetat và natri propionat, nồng độ COD giảm mạnh từ nồng độ ban đầu là 300 mg/L xuống 58, 61 và 75 mg/L, với hiệu suất đạt 80 %, 71 % và 75 %, tương ứng. Điều này có thể cho thấy rằng việc bổ sung glucose đã loại bỏ được đáng kể COD.

4. Kết luận

Nghiên cứu này nhằm mục đích đánh giá ảnh hưởng của nguồn carbon

lên khả năng sinh trưởng, sinh tổng hợp phycocyanin và xử lý nước thải sinh hoạt của vi khuẩn lam *Spirulina platensis*. Thí nghiệm xử lý nước thải sinh hoạt giả định bằng *Spirulina platensis* và có bổ sung glucose làm nguồn carbon đã chứng minh khả năng loại bỏ đáng kể N - NH_4^+ , P - PO_4^{3-} , T - P và COD với hiệu suất xử lý tương ứng là 92 %, 81 %, 71 % và 81 %. Các kết quả nghiên cứu cũng cho thấy sự sinh trưởng và khả năng sinh tổng hợp phycocyanin cũng đạt giá trị cao nhất với $\text{OD}_{445} = 0,639$ và nồng độ phycocyanin đạt 82,54 mg/L. Việc lựa chọn được nguồn carbon giúp cho *Spirulina platensis* đồng thời sinh tổng hợp phycocyanin cao và xử lý nước thải sinh hoạt tốt là tiền đề cho các nghiên cứu tiếp theo.

Lời cảm ơn: Các kết quả trong nghiên cứu này được tài trợ kinh phí bởi đề tài TNMT.2023.562.05 và đề tài KHKT&CN-07. Tập thể tác giả chân thành cảm ơn Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, Bộ Nông nghiệp và Môi trường đã tài trợ kinh phí thực hiện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Barreiro-Vescovo S., Gonzalez-Fernández C., de Godos I., (2021). *Characterization of communities in a microalgae-bacteria system treating domestic wastewater reveals dominance of phototrophic and pigmented bacteria*. Algal Res., 59 102447.
- [2]. Bennett A., Bogorad L., (1973). *Complementary chromatic adaptation in a filamentous bluegreen alga*. J. Cell Biol., 58 (2) 419 - 435.
- [3]. Cottas A.G., Cunha W.R., Ribeiro E.J., Ferreira J.S., (2020). *Influence of Medium Composition on the Production of Phycocyanin from Anabaena variabilis*. Ind. Biotechnol., 16 (2) 45 - 49.
- [4]. Harutyunyan A. A., Manoyan J. G., Hambaryan L. R., Gabrielyan L. S., (2023). *Effect of various carbon sources on*

Nghiên cứu

the growth properties and morphology of *Spirulina platensis*. Chem. and Biol., 57 (2) 164 - 171.

[5]. KAushal S., Singh Y., Khattar J.I.S., Singh D.P., (2017). *Phycobiliprotein production by a novel cold desert cyanobacterium Nodularia sphaerocarpa PUPCCC 420*. J. Appl. Phycol., 29 (4) 1819 - 1827.

[6]. Kovač D., Babić O., Milovanović I., Mišan A., Simeunović J., (2017). *The production of biomass and phycobiliprotein pigments in filamentous cyanobacteria: The impact of light and carbon sources*. Appl. Biochem. Microbiol., 53 (5) 539 - 545.

[7]. Larsdotter K., la Cour Jansen J., Dalhammar G., (2007). *Biologically mediated phosphorus precipitation in wastewater treatment with microalgae*. Environ. Technol., 28 953 - 960.

[8]. Lau P.S., Tam N.F.Y., Wong Y.S., (1995). *Effect of algal density on nutrient removal from primary settled wastewater*. Environ. Pollut., 89 59 - 66.

[9]. Larsdotter K., la Cour Jansen J., Dalhammar G., (2007). *Biologically mediated phosphorus precipitation in wastewater treatment with microalgae*. Environ. Technol., 28 953 - 960.

[10]. Li K., Liu Q., Fang F., Luo R., Lu Q., Zhou W., Huo S., Cheng P., Liu J., Addy M., Chen P., Chen D., Ruan R., (2019). *Microalgae-based wastewater treatment for nutrients recovery: A review*. Bioresour. Technol., 291 121934.

[11]. Lim H.R., Khoo K.S., Chew K.W., Chang C.K., Show P.L., (2021). *Perspective of Spirulina culture with wastewater into a sustainable circular bioeconomy*. Environ. Pollut., 2021, 284:117492.

[12]. Nguyen Thi Kieu Oanh, Duong Thi Thuy, Doan Thi Oanh, Vu Thi Nguyet, Nguyen Van Nam (2022). *The domestic wastewater treatment capacity of Spirulina platensis SP4 and the application of the treated wastewater in stimulating rice germination*. Vietnam J. Biotechnol., 20 (4): 773 - 784.

[13]. Oliveira J.J., Ribeiro H., (2020). *Food market trends: the cases of spirulina and bee pollen*. 56th Int. Sci. Conf. Econ. Soc. Dev. 246 - 258.

[14]. Pagels F., Guedes A.C., Amaro H.M., Kijjoa A., Vasconcelos V., (2019). *Phycobiliproteins from cyanobacteria:*

Chemistry and biotechnological applications. Biotechnol. Adv., 37 (3) 422 - 443.

[15]. Silaban A., Bai R., Gutierrez-Wing M.T., Negulescu I.I., A. Rusch K.A., (2014). *Effect of organic carbon, C: N ratio, and light on the growth and lipid productivity of microalgae/cyanobacteria coculture*. Eng. Life Sci., 14 47 - 56.

[16]. Rajapaksha G.K.M., Wansapala M.A.J., Silva A.B.G., (2015). *Detection of synthetic colours in selected foods & beverages available in Colombo district, Sri Lanka*. Int. J. Sci. Res., 6 (5) 801 - 808.

[17]. Vargas S.R., Santos P.V. Dos, Zaiat M., Calijuri M. DO.C., (2018). *Optimization of biomass and hydrogen production by Anabaenasp. (UTEX 1448) in nitrogen-deprived cultures*. Biomass and Bioenergy, 111 70 - 76.

[18]. Wang Q., Wang X., Hong Y., Liu X., Zhao G., Zhang H., Zhai Q., (2022). *Microalgae cultivation in domestic wastewater for wastewater treatment and high value-added production: Species selection and comparison*. Biochem. Eng. J., 185 108493.

[19]. Wongsansilp T., Phinrub W., (2022). *Evaluation of common wastewaters on the growth of the alga Spirulina*. J. Appl. Biol., 10 (1) 33 - 38.

[20]. Wong Y.K., Yung K.K.L., Tsang Y.F., Xia Y., Wang L., Ho K.C., (2015). *Scenedesmusquadricauda for nutrient removal and lipid production in wastewater*. Water Environ. Res., 87 2037 - 2044.

[21]. Xiang S.Y., Liu Y.H., Zhang G.M., Ruan R., Wang Y.P., Wu X.D., Zheng H.L., Zhang Q., Cao L., (2020). *New progress of ammonia recovery during ammonia nitrogen removal from various wastewaters*. World J. Microb. Biot., 36 144.

[22]. Yu J., Hu H., Wu X., Wang C., Zhou T., Liu Y., Ruan R., Zheng H., (2019). *Continuous cultivation of Arthrospira platensis for phycocyanin production in large-scale outdoor raceway ponds using microfiltered culture medium*. Bioresour. Technol., 287, 121420.