

NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG LOẠI BỎ AMONI VÀ PHOSPHAT TRONG NƯỚC THẢI CHĂN NUÔI HEO SAU XỬ LÝ KỊ KHÍ BẰNG QUÁ TRÌNH TĂNG TRƯỞNG ĐÍNH BÁM CỦA VI TẢO *CHLORELLA VULGARIS*

Phạm Duy Thanh, Nguyễn Thị Kiều Phương
Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP. HCM.

Tóm tắt

Nghiên cứu này khảo sát khả năng loại bỏ amoni và phosphat trong nước nhờ quá trình tăng trưởng đính bám của tảo *Chlorella vulgaris*. Nước thải chăn nuôi heo sau quá trình phân hủy kị khí được sử dụng làm môi trường nuôi *C. vulgaris* và giá thể cho vi tảo bám được dùng là vải cotton. Kết quả nghiên cứu cho thấy vi tảo phát triển tốt trên giá thể và sản lượng sinh khối đạt 1.33 g/m²/ngày. Hiệu quả loại bỏ amoni, phosphat và COD của hệ thống tương ứng đạt 98.14%, 93.70% và 72.16%. Nghiên cứu này cho thấy tiềm năng ứng dụng quá trình tăng trưởng đính bám của *C. vulgaris* trong việc nuôi thu sinh khối và loại bỏ nitơ, phospho trong nước thải chăn nuôi heo sau quá trình xử lý kị khí.

Từ khóa: *Chlorella vulgaris*; Tăng trưởng đính bám; Nhu cầu oxy hóa học; Amoni; Phosphat

Abstract

Removal of ammonium and phosphate in anaerobically treated swine wastewater using biofilm attached cultivation of Chlorella vulgaris

In this study, the anaerobically treated swine wastewater containing nitrogen and phosphorus is used as culture medium for Chlorella vulgaris. The results of cultivation experiments indicated that Chlorella vulgaris grew well in wastewater containing biofilm and produced a biomass productivity of 1.33 g/m² d⁻¹. Biofilm microalgal systems have high nutrient removal efficiency for swine wastewater treatment. The removal ratios of NH₄⁺, PO₄³⁻, and COD are 98.14, 93.70, and 72.16%, respectively. Therefore, it can be concluded that efficient biomass production and nutrients removal in swine wastewater treatment could be achieved by biofilm attached cultivation of Chlorella vulgaris.

Keywords: *Chlorella vulgaris*; Biofilm; Chemical oxygen demand; Ammonium; Phosphate

1. Đặt vấn đề

Chất thải từ trại chăn nuôi heo có nồng độ chất hữu cơ, nitơ và phospho cao cần phải xử lý trước khi xả thải ra môi trường. Hiện nay, công nghệ xử lý sinh học kị khí kết hợp với sản xuất biogas được áp dụng rộng rãi cho loại chất thải này. Tuy nhiên nguồn nước sau xử lý vẫn chứa nồng độ cao COD, nitơ, phospho và các chất dinh dưỡng khác [1].

Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng vi tảo có khả năng loại bỏ nitơ và phospho trong nước. Wang và cs. 2013 nghiên cứu khả năng loại bỏ amoni trong nước thải chăn nuôi heo của tảo *Oedogonium sp.* Hiệu quả loại bỏ amoni, tổng phosphat và COD tương ứng đạt 95.9%, 92.9% và 62.5% [2]. Tan và cs. (2011) cũng thực hiện nghiên cứu khả năng xử lý nước thải chăn nuôi

heo của tảo *Scenedesmus quadricauda* và *Stigeoclonium sp.* Kết quả chỉ ra rằng *S. quadricauda* xử lý nước thải tốt hơn *Stigeoclonium* và hiệu suất loại bỏ amoni, phospho và COD của *S. quadricauda* lần lượt đạt 91.79%, 84.78% và 83.99% [3]. Những nghiên cứu này ứng dụng quá trình tăng trưởng lơ lửng của vi tảo để xử lý nước. Theo cách này, tảo được nuôi trong hồ hoặc hệ thống quang sinh. Nhìn chung, mật độ sinh khối trong những hệ thống này thấp, chỉ đạt 0.5 g/l ở hồ và 2 - 6 g/l khi áp dụng hệ thống quang sinh [4]. Sau khi xử lý nước, sinh khối tảo có thể được sử dụng vào nhiều mục đích như làm thức ăn gia súc, phân bón, hay nhiên liệu sinh học [5]. Phương pháp thu sinh khối tảo thường được dùng là lắng, lọc, keo tụ, tuyển nổi hay ly tâm. Những phương pháp này tốn thời gian, có thể chiếm 21 % tổng chi phí nuôi [4]. Ngoài ra, ứng dụng quá trình tăng trưởng lơ lửng vi tảo xử lý nước còn có một số hạn chế như cần diện tích lớn và chi phí lắp đặt cao, cần nước nhiều [6].

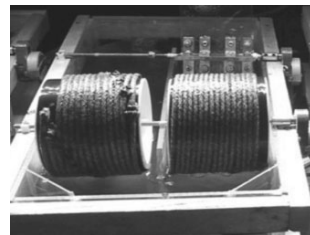
Những trở ngại trên sẽ được loại bỏ khi ứng dụng phương pháp tăng trưởng dính bám của vi tảo để xử lý nước thải và thu sinh khối. Trong phương pháp này, tế bào tảo dính bám vào giá thể; sử dụng nito, phospho và các chất dinh dưỡng khác cho sự sinh trưởng và phát triển tạo nên màng sinh học. Theo thời gian, nồng độ chất dinh dưỡng trong nước giảm, màng sinh học vi tảo dày lên và sinh khối được thu bằng cách cào trên bề mặt giá thể. Sinh khối thu đạt 10 - 20% trọng lượng khô, giống như sinh khối sau ly tâm [4]. Sau thu hoạch tảo vẫn còn dính bám vào trong các lỗ của vật liệu làm giá thể giúp chúng nhanh chóng phát triển trở lại. Giá thể sử dụng cho tảo bám có thể cố định, hay xoay tròn; được đặt nằm ngang hay thẳng đứng. Vật liệu làm giá thể cho vi tảo đa dạng; có thể là sợi cotton, vải cotton, hay được làm từ nylon. Một số giá loại giá thể được trình bày trong Hình 1 [4, 7].



(a) Giá thể cố định nằm ngang



(b) Giá thể cố định đứng



(c) Sợi giá thể quay tròn

Hình 1: Một số loại giá thể cho tảo bám

Trong nghiên cứu này, nước thải chăn nuôi heo sau quá trình xử lý kỵ khí từ hầm biogas được sử dụng. Nghiên cứu ứng dụng quá trình sinh trưởng dính bám của vi tảo *Chlorella vulgaris* trên đĩa giá thể quay tròn để khảo sát hiệu suất loại bỏ amoni, phosphat và COD trong nước thải. Sản lượng sinh khối của *C. vulgaris* trên giá thể cũng được khảo sát.

2. Vật liệu và phương pháp

Vi tảo: Trong nghiên cứu này, vi tảo lục *Chlorella vulgaris* được dùng để tiến

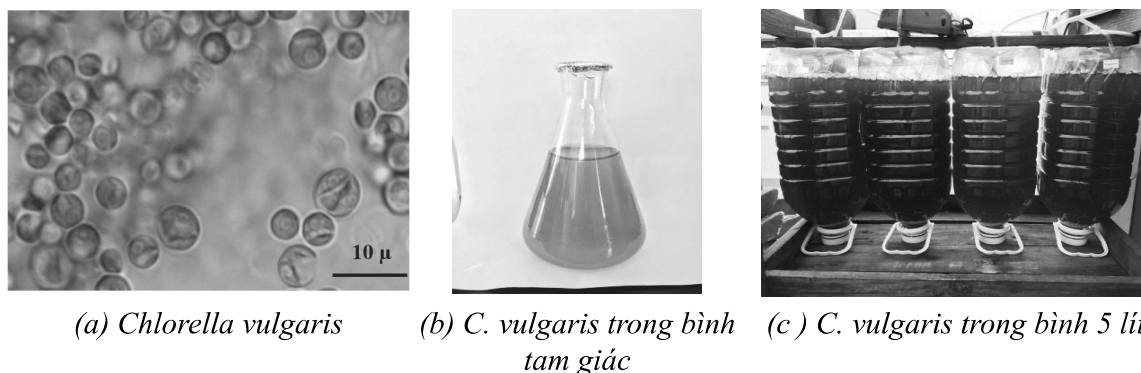
hành thí nghiệm. Loài vi tảo này được lưu giữ tại phòng thí nghiệm Viện nghiên cứu Nuôi trồng Thủy sản 2, tại địa chỉ 116 Nguyễn Đình Chiểu, Quận 1, Tp. HCM.

Môi trường: Vi tảo được nuôi trong môi trường Bold's Basal Medium (BBM). Thành phần môi trường bao gồm các chất sau (cho 1 lít): 0.25g NaNO₃; 0.175g K₂HPO₄; 0.1g KH₂PO₄; 0.075g MgSO₄.7H₂O; 0.025g CaCl₂.2H₂O; 0.025g NaCl; 0.031g KOH; 0.05g

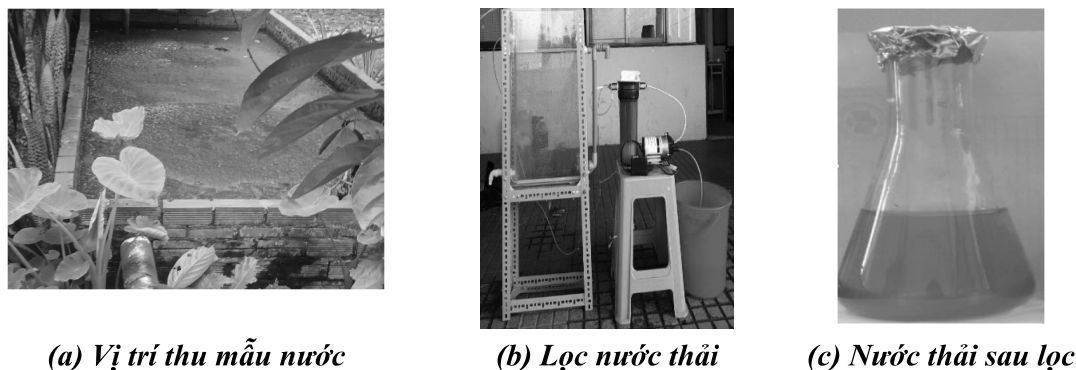
Na₂EDTA; 4.98mg FeSO₄.7H₂O; 11.42mg H₃BO₃; 8.82mg ZnSO₄.7H₂O; 1.44mg MnCl₂.7H₂O; 0.71mg MoO₃; 1.57mg CuSO₄.5H₂O; 0.49mg Co(NO₃)₂.6H₂O. Môi trường được khử trùng trong nồi hấp ở nhiệt độ 121°C, 1.5 atm và thời gian 20 phút. Vi tảo được giữ trong bình tam giác 250 ml chứa 100 ml, ở nhiệt độ 25°C, lắc 120 vòng/phút, cường độ ánh sáng 2500 lux, chu kỳ chiếu sáng là 12:12. Sau 5 ngày, vi tảo được chuyển sang nuôi ở các bình 5 lít, sinh khối sau đó được dùng cho thí nghiệm trong nghiên cứu này (H.2).

Nước thải thí nghiệm: Trong nghiên cứu này, nước thải chăn nuôi heo

sau quá trình phân hủy kỵ khí, ở bể sau hầm biogas được dùng để khảo sát loại bỏ chất dinh dưỡng. Mẫu nước được lấy tại hộ chăn nuôi tại xã Tân Thạnh Đông, Huyện Củ Chi, Tp. HCM. Trong xử lý nước thải nhờ vi tảo, mẫu nước sau hầm biogas thường được xử lý sơ bộ để loại bỏ rác, một phần chất rắn lơ lửng tạo điều kiện cho vi tảo quang hợp. Nhiều phương pháp đã được áp dụng như lọc cát [8], hay dùng NaClO, H₂O₂, O₃ [9]. Ở nghiên cứu này, nước thải được lọc qua sàng 2 mm, sau đó lọc qua lõi lọc 0.5 micromet. Hình 3 thể hiện vị trí thu mẫu, thiết bị lọc nước thải. Thông số nước thải trong nghiên cứu này được trình bày trong Bảng 1.



Hình 2: Nuôi vi tảo *Chlorella vulgaris*



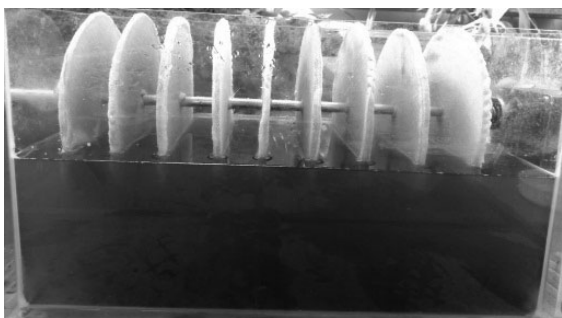
Hình 3: Vị trí thu mẫu nước và thiết bị lọc nước thải thí nghiệm

Bảng 1. Đặc tính nước thải trong thí nghiệm

STT	Thông số	Đơn vị	Giá trị
1	pH	-	7.0
2	Phosphat	mg/l	4.89 ± 0.32
3	Amoni	mg/l	108.79 ± 3.67
4	SCOD	mgO ₂ /l	373.00 ± 11.55

Mô hình thí nghiệm: Mô hình thí nghiệm là một bể kính, kích thước chiều dài, rộng, cao tương ứng là 40 x 20 x 25 cm; chứa 9 lít nước thải thí nghiệm (Hình 4). Diện tích mặt nước của mô hình là 0.08 m². Bể có 9 đĩa giá thể được đặt song song theo chiều thẳng đứng, cách đều 4 cm; các đĩa được gắn với trục inox đường kính 1.2 cm, trục quay được gắn với motor. Tốc độ vòng quay của các đĩa đều nhau và bằng 6 vòng/phút. Mỗi đĩa được làm bằng vật liệu aluminium dày 3 mm đường kính 16 cm, các đĩa sau đó được bọc bằng vải cotton trắng làm giá thể. Diện tích một mặt đĩa là 0.02 m², tổng diện tích bề mặt của 9 đĩa giá thể là 0.36 m².

Vận hành mô hình: Mô hình được vận hành theo mẻ, thời gian mỗi thí nghiệm là 9 ngày, được lặp lại 3 lần. Mô hình được đặt ngoài trời, ở điều kiện môi trường tự nhiên trong mùa khô từ tháng 2 đến tháng 4 năm 2019, tại Trung tâm Thí nghiệm - Thực hành, Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP. HCM. Không bổ sung khí cacbonic trong nghiên cứu này.



Hình 4: Mô hình thí nghiệm

Xác định sinh khối: Trong nghiên cứu này, sự tăng sinh khối vi tảo trong bể và sinh khối tảo bám trên giá thể đều được phân tích. Tăng trưởng tảo trong dung dịch được xác định bằng phương pháp khối lượng. Thu 25 ml mẫu, lọc qua giấy lọc 0.45 µm đã biết khối lượng, sấy ở 105°C đến khối lượng không đổi và tính sinh khối theo phương trình sau:

Sinh khối

$$(g/l) = (W_i - W_o) / 25 * 1000 (g/l) \quad (1)$$

Trong đó W_o , W_i lần lượt là khối lượng giấy lọc trước và sau khi sấy.

Để xác định sinh khối tảo bám trên giá thể, 27 mảnh vải cotton có diện tích 1 cm², đã biết khối lượng được dính vào một số đĩa (Hình 7.b), có 3 đĩa được chọn cho mỗi đợt thí nghiệm. Hằng ngày, các mẫu sẽ được thu, sấy ở 70°C, cân khối lượng và tính sản lượng sinh khối theo công thức sau [4].

Sản lượng sinh khối (g/m²/ngày) = sinh khối trên giá thể (g/m²) / thời gian thu (ngày) (2)

Thông số amoni, phosphat, COD:

Thu 30 ml mẫu nước trong bể sau đó ly tâm 3000 vòng/phút trong 10 phút. Phần nước sau ly tâm được dùng để phân tích amoni, phosphat và COD theo hướng dẫn trong APHA, 2005. Máy đo pH hiệu SI Analytics - Lab 855, cân phân tích Pioneer - OHAUS và máy đo quang PhotoLab - 6100 VIS được dùng trong nghiên cứu này. Hiệu suất loại bỏ chất ô nhiễm được tính theo công thức:

$$H(\%) = 100\% \times (C_o - C_i) / C_o \quad (3)$$

Trong đó C_o và C_i lần lượt là giá trị nồng độ khởi đầu và ở thời gian thu mẫu.

Xử lý số liệu: Số liệu được xử lý bằng phần mềm Microsoft Excel Office 2010 và Statgraphics XV, Version 15.1.02. Sử dụng phương pháp phân tích ANOVA và Multiple Range Tests với độ tin cậy 95% để xác định sự khác biệt có ý nghĩa giữa các giá trị trung bình mẫu.

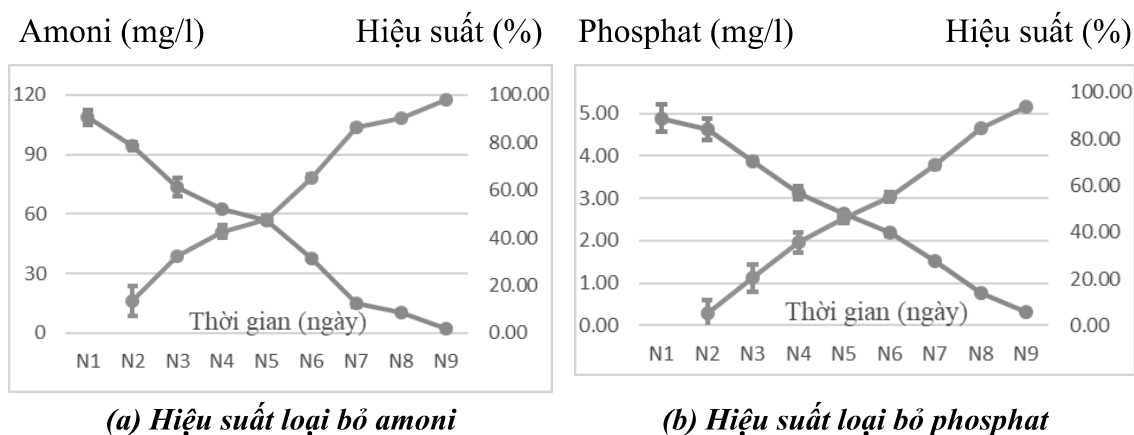
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Loại bỏ amoni và phosphat và COD

Loại bỏ amoni và phosphat: Biến động giá trị amoni và phosphat của môi

trường nước được thể hiện trong Hình 5. Giá trị amoni trong nước thải đầu vào là 108.79 mg/l, sau 5 ngày xử lý nồng độ amoni giảm, có giá trị 56.59 mg/l, hiệu suất loại bỏ amoni đạt 47.92%. Sau 9 ngày, nồng độ amoni trong nước còn lại 2.04 mg/l, đạt hiệu suất xử lý 98.14%. Tương tự như amonia, nồng độ phosphat

trong môi trường cũng giảm dần theo thời gian xử lý. Giá trị phosphat trong nguồn nước ngày đầu thí nghiệm là 4.89 mg/l, sau 5 ngày xử lý nồng độ phosphat giảm dần, có giá trị đạt 2.63 mg/l. Kết thúc thí nghiệm, nồng độ phosphat đo được là 0.31 mg/l, hiệu suất loại bỏ phosphat đạt 93.70%.



Hình 5: Hiệu suất xử lý amoni và phosphat

Kết quả về khả năng xử lý amoni và phosphat trong nghiên cứu này cũng tương tự như một số nghiên cứu trước. Cheng và cs., (2017) thực hiện nghiên cứu nuôi vi tảo *Chlorella pyrenoidosa* trên giá thể là giấy lọc, đặt nằm ngang trong môi trường nước thải chăn nuôi heo. Kết quả chỉ ra rằng hiệu suất loại bỏ amoni, tổng phospho và COD tương ứng là 75.9, 68.4 và 74.8% [10]. Trong khi đó, nghiên cứu của Kesaano (2015) sử dụng tảo *Botryococcus sp*, với giá thể là các sợi cotton quay tròn đối với nước thải nhân tạo. Kết quả chỉ ra rằng khả năng loại bỏ amoni và phosphat trong hệ thống đạt lần lượt là 89 - 100%, 19 - 41% sau 10 ngày thí nghiệm [11]. Khiewwijit và cs. (2017) đã sử dụng vi tảo để nghiên cứu khả năng xử lý nước thải chăn nuôi heo. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng kiểu sinh trưởng dính bám của vi tảo với vật liệu giá thể làm từ nylon có hiệu quả loại bỏ nitơ và phosphat tương ứng đạt 96%, 87%; và hiệu quả hơn so với xử lý bằng kiểu sinh

trưởng lơ lửng truyền thống [7]. Nghiên cứu của Osorio và cs. (2019) còn chỉ ra rằng tốc độ nước trong bể chậm sẽ giúp quá trình hình thành màng sinh học nhanh và hiệu suất loại bỏ phosphat trong pha bám và pha trưởng thành của màng sinh học tương ứng là 72.9% và 57.8% [12].

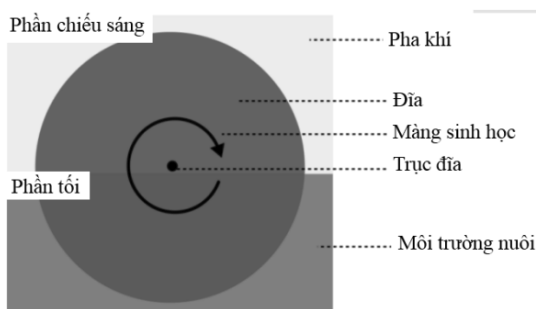
Nước thải chăn nuôi heo có hàm lượng amoni, phosphat và COD, độ đục, độ màu cao [8]. Nitơ và phospho là những nguyên tố thiết yếu cho sự sinh trưởng và phát triển của tảo. Trong môi trường nước, tảo đóng vai trò quan trọng trong quá trình chuyển đổi nitơ vô cơ thành nitơ hữu cơ thông qua quá trình đồng hóa [13]. Trong các dạng amoni, nitrat, nitrit thì amoni là nguồn nitơ thích hợp nhất cho sự hấp thu của tảo vì amoni được tế bào sử dụng trực tiếp mà không cần có sự tham gia của các enzyme [3]. Bên cạnh đó, phosphat cũng cần thiết cho sự tăng trưởng vi tảo và cũng như tham gia vào các quá trình sinh tổng hợp RNA ribosome và năng lượng [7].

Nghiên cứu

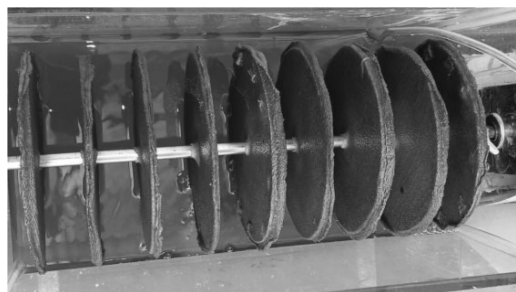
Trong nghiên cứu này, vi tảo dính bám vào đĩa giá thể là vải cotton, 40% diện tích bề mặt đĩa luôn ngập trong nước cho phép tảo tiếp xúc với môi trường dinh dưỡng và trong không khí. Khi mô hình vận hành, 9 đĩa được quay tròn đều với tốc độ 6 vòng/phút, giúp bề mặt đĩa luôn ẩm ướt. Theo cách này, ánh sáng được phân bố đến toàn bộ bề mặt đĩa khi ở “pha sáng” và chất dinh dưỡng được khuếch tán vào trong màng sinh học giúp tảo sinh trưởng và phát triển trong “pha tối” (Hình 6.a) [6]. Khi thực hiện một vòng quay, tảo trải qua một chu trình sáng (phần đĩa trên) - tối (phần đĩa ngập nước). Đĩa quay cung cấp carbonic cho sự quang hợp do tiếp

xúc với không khí đồng thời loại bỏ chất dinh dưỡng dẫn đến sự tích lũy sinh khối ở màng sinh học [14]. Cơ chế loại bỏ chất dinh dưỡng của vi tảo được trình bày chi tiết trong nghiên cứu của Blanken (2016). Hình 6 thể hiện sự phát triển của vi tảo trên giá thể trong quá trình thí nghiệm.

Mặc dù QCVN về nước thải chăn nuôi (QCVN 62-MT:2016/BTNMT) không quy định về thông số phosphat trong nước thải khi xả thải ra ngoài môi trường, nhưng kết quả nghiên cứu này đã cho thấy hệ thống xử lý nước dựa vào quá trình tăng trưởng dính bám của vi tảo có thể loại bỏ được cả amoni và phosphat.



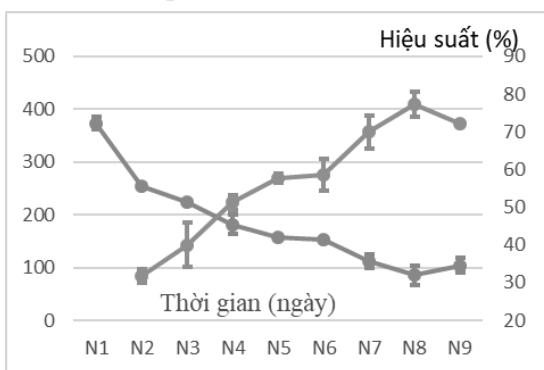
(a) Đĩa giá thể vi tảo [6]



(b) Vi tảo bám trên giá thể

Hình 6: Vi tảo phát triển trên đĩa giá thể

COD (mg O₂/l)



(a) Hiệu suất loại bỏ COD



(b) Giá thể trên đĩa

Hình 7: Hiệu suất loại bỏ COD và sự phát triển vi tảo trên giá thể

Loại bỏ COD: Hình 6 thể hiện sự biến đổi của COD theo thời gian thí nghiệm. Giá trị COD nước thải đầu vào là 373 mg O₂/l, sau 5 ngày vận hành mô hình COD giảm dần còn 158 mgO₂/l, ứng với hiệu suất xử lý đạt 57.64%. Hiệu suất xử

lý COD cao nhất sau 8 ngày xử lý, có giá trị là 77.16%.

Xie và cs. (2018) đã dùng tảo *Chlorella vulgaris* để nghiên cứu khả năng loại bỏ COD trong nước thải chăn nuôi heo. Kết quả chỉ ra rằng, tùy nồng

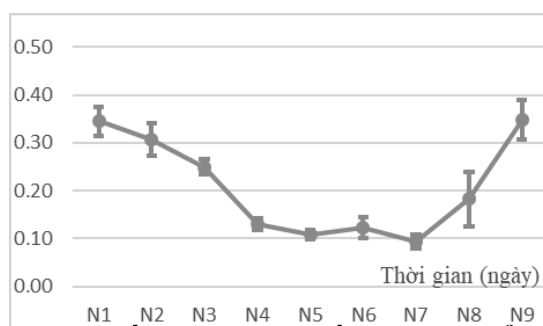
độ COD đầu vào mà hiệu suất xử lý là khác nhau và khi COD thấp thì hiệu quả loại bỏ nitơ, phospho và COD cao. Cụ thể, giá trị COD đầu vào là 625 mg/l, 272 mg/l thì hiệu quả xử lý lần lượt đạt 79.89% và 94.28% [1]. Trong khi đó, khi nuôi vi tảo *C. pyrenoidosa* trên giá thể bằng giấy lọc trong môi trường nước thải chăn nuôi heo thì giá trị COD giảm từ 601 xuống còn 152 mgO₂/l, ứng với hiệu suất loại bỏ COD là 74.8% và tảo nhanh chóng thích ứng với môi trường mới trên giá thể [10].

Sự loại bỏ COD trong nghiên cứu này có thể do một số nguyên nhân. Trong sự hiện diện của ánh sáng và chất hữu cơ, *C. vulgaris* có thể chuyển đổi sang kiểu tăng trưởng hỗn dưỡng sử dụng cả cacbon ở dạng hữu cơ và khí carbonic [3, 9]. Sự loại bỏ COD cũng còn do sự tham gia vi khuẩn hiện diện trong màng sinh học [3]. Thêm vào đó, oxy từ hoạt động quang hợp của tảo còn giúp vi khuẩn ô xy hóa chất hữu cơ làm giảm nồng độ COD trong quá trình xử lý [15].

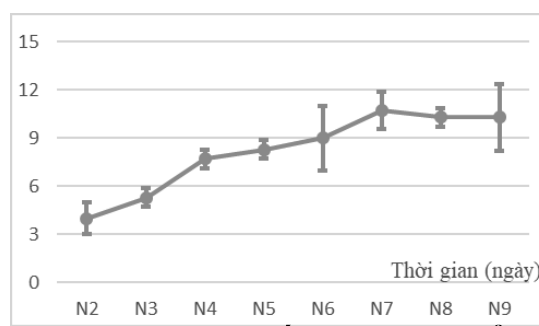
3.2. Sự tăng sinh khối tảo trong quá trình xử lý

Sinh khối tảo trong bể xử lý: Các nghiên cứu ứng dụng quá trình tăng trưởng lơ lửng vi tảo để xử lý nước thải chăn nuôi heo đã phải thực hiện nhiều phương pháp khác nhau giảm độ đục nước, để ánh sáng xâm nhập sâu trong nước giúp tảo quang hợp, xử lý nước được hiệu quả hơn. Một số phương pháp đã được áp dụng như lọc cát, dùng NaClO, H₂O₂, O₃ [9]. Đã có nghiên cứu dùng nước máy pha loãng với nước thải 15 lần, sau đó dùng tảo *Oedogonium* để xử lý nước [2]. Nhưng pha loãng nước thải và sau đó dùng tảo để loại bỏ chất ô nhiễm sẽ lãng phí nguồn nước, tăng chi phí [10]. Vì vậy phát triển công nghệ cho phép tảo phát triển tốt trong nước thải, để thu sinh khối, tận dụng sinh khối vi tảo trở nên rất quan trọng.

Ở nghiên cứu này, nước thải sau bể biogas không pha loãng, không dùng hóa chất để xử lý giảm độ đục, chỉ lọc qua cột lọc 0.5 micromet và dùng làm thí nghiệm để đo đặc sự tăng sinh khối tảo trên giá thể và trong môi trường nước của bể xử lý.



(a) Biến động sinh khối tảo trong bể phản ứng



(b) Tăng sinh khối tảo trên giá thể

Hình 8: Sự tăng sinh khối tảo trong bể xử lý

Hình 8 thể hiện sự tăng trưởng vi tảo trong bể xử lý theo thời gian thí nghiệm. Mật độ sinh khối ngày đầu thí nghiệm là 0.35 g/l, và có xu hướng giảm dần trong những ngày đầu vận hành mô hình, đạt giá trị là 0.25 g/l ở ngày thứ 3. Trường hợp này cũng đã được Osorio và cs. (2019) ghi

nhận khi dùng vải cotton làm giá thể cho *Chlorella vulgaris* [12]. Sự giảm sinh khối này là do các tế bào tảo trong môi trường nước dính bám vào giá thể. Trong ngày 4 đến ngày 7 của quá trình thí nghiệm, nồng độ sinh khối giao động từ 0.09 - 0.13 g/l. Điều này cho thấy vi tảo không phát triển

tốt trong nước thải chăn nuôi nếu không thực hiện các biện pháp tiền xử lý để giảm độ đục của môi trường và màu nâu sậm của nước thải chăn nuôi cùng với sự hiện diện các chất lơ lửng trong nước đã làm giảm sự xâm nhập ánh sáng ảnh hưởng đến sự quang hợp vi tảo. Cũng cần lưu ý là sự tăng sinh khối tảo ngày 8, 9 không phải là sự phát triển của *C. vulgaris* mà là do sự bong tróc các mảng bám của màng sinh học vi tảo trên giá thể và rơi xuống bể phản ứng. Hiện tượng này được ghi nhận vào 2 ngày cuối của quá trình thí nghiệm. Nó có thể cũng là nguyên nhân làm tăng giá trị COD vào ngày thứ 9 so với ngày trước đó (Hình 7).

Sinh khối tảo bám: Khác với sự tăng trưởng sinh khối trong bể xử lý, kết quả nghiên cứu này cho thấy vi tảo phát triển tốt trên giá thể (Hình 6). Sự tăng sinh khối tảo bám theo thời gian xử lý được thể hiện ở Hình 8. Sinh khối tăng dần và giá trị cao nhất đạt 10.7 g/m^2 sau 7 ngày thí nghiệm. Hai ngày tiếp theo giá trị này giảm và đạt 10.3 g/m^2 . Sản lượng sinh khối trung bình đạt $1.33 \text{ g/m}^2/\text{ngày}$, và tốc độ tăng trưởng (μ) là $0.20 (\text{ngày}^{-1})$. Kết quả xử lý thống kê chỉ ra rằng, sự tăng sinh khối ở 3 ngày đầu không có sự khác biệt, nhưng có sự khác biệt so với các ngày còn lại với độ tin cậy 95%. Kết quả nghiên cứu này không khác so với nghiên cứu trước đó của Kesaano (2015). Tác giả thí nghiệm đối với tảo lục *Botryococcus sp.* trên giá thể là sợi cotton, tốc độ tăng trưởng đạt 0.18 và 0.20 ngày^{-1} , sản lượng sinh khối là 1.45 và $1.79 \text{ g/m}^2/\text{ngày}$ ứng với trường hợp bổ sung và không bổ sung nguồn carbon dưới dạng bicarbonate [11]. Mô hình của nghiên cứu này có diện tích mặt nước là 0.08 m^2 , tổng diện tích bề mặt giá thể của 9 đĩa trong mô hình là 0.36 m^2 . Như vậy tổng toàn bộ sinh khối tảo bám của cả mô hình đạt 48.15 g/m^2 .

Nghiên cứu này cho thấy giá trị sinh khối tảo bám cao nhất vào ngày thứ 7 trong thời gian thí nghiệm, điều này gợi ý về thời gian thu sinh khối nên thực hiện vào lúc này. Chu kỳ thu sinh khối tảo một tuần một lần cũng đã thực hiện ở các nghiên cứu của Gross (2015) và Blanken (2016) khi thí nghiệm đối với nguồn nước là môi trường BBM. Ngoài ra nghiên cứu của Blanken (2016) còn chỉ ra rằng sản lượng sinh khối tảo bám sẽ giảm nếu giá trị pH môi trường là $9 \div 10$ và ở nhiệt độ 40°C . Tuy nhiên sinh khối tảo nhanh chóng được phục hồi khi điều chỉnh các thông số môi trường nuôi về điều kiện tối ưu [6]. Kết quả này cho thấy tiềm năng ứng dụng xử lý nước thải của của hệ thống ở quy mô lớn khi mà sức đề kháng của màng sinh học vi tảo cao đối trong những điều kiện môi trường cực đoan.

4. Kết luận

Tóm lại, kết quả nghiên cứu này cho thấy vi tảo *Chlorella vulgaris* có thể phát triển trên đĩa giá thể trong nước thải chăn nuôi heo sau xử lý kỵ khí mà không cần phải pha loãng hay tiền xử lý bằng hóa chất để giảm độ đục nước. Khả năng loại bỏ amoni, phosphat và COD của hệ thống cho thấy có thể áp dụng công nghệ này trong xử lý nước thải chăn nuôi heo cũng như các nguồn nước thải có nồng độ dinh dưỡng cao. Cần có những nghiên cứu tiếp theo về tỉ lệ phù hợp giữa nitơ và phospho cho sự phát triển tối ưu của màng sinh học vi tảo để tăng hiệu quả xử lý nước thải.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Xie, B., Gong, W., Tian, Y., Qu, F., Luo, Y., Du, X., Tang, X., Xu, D., Lin, D., Li, G., Liang, H. (2019). *Biodiesel production with the simultaneous removal of nitrogen, phosphorus and COD in microalgal-bacterial communities for the treatment of anaerobic digestion effluent in photobioreactors.*

Elsevier. Chemical Engineering Journal 350 (2018) 1092 - 1102

[2]. Wang, H., Hu, Z., Xiao, B., Cheng, Q., Li, F. (2013). *Ammonium nitrogen removal in batch cultures treating digested piggery wastewater with microalgae Oedogonium sp.* Water Science & Technology V. 68.2, 269 - 275.

[3]. Tan, K. A., Morad, N., Harlina, A., Ong, S. L. (2018). *Removal of COD, BOD and nutrients in swine manure wastewater using freshwater green microalgae.* Malaysian Journal of Microbiology, Vol 14(2) Special Issue 2018, pp. 187 - 194.

[4]. Gross, M. A. (2015). *Development and optimization of biofilm based algal cultivation.* PhD thesis, Iowa State University, USA.

[5]. Phạm Duy Thanh (2018). *Biomass and lipid productivity of scenedesmus deserticola under heterotrophic cultivation.* AGU International Journal of Sciences - 2019, Vol. 7 (4), 39 - 48.

[6]. Blanken, W. (2016). *Microalgae production in a biofilm photobioreactor.* PhD thesis, Wageningen University, Netherlands.

[7]. Khiewwijit, R., Panyaping, K., Wongpankamol, P. (2015). *Nutrient Removal by Suspended and Biofilm Microalgae for Treating the Wastewater of Agro-Industrial Pig Farm.* Sci & Tech 2019; 16(10): 791 - 803.

[8]. Ayre, J. (2013). *Microalgae culture to treat piggery anaerobic digestion effluent.* Msc theis, Murdoch University, Australia.

[9]. Kwon, G., Nam, J-H., Kim, D., Song, C., Jahng, D. (2020). *Growth and*

nutrient removal of Chlorella vulgaris in ammonia-reduced raw and anaerobically-digested piggery wastewaters. Eng. Res. 2020; 25(2): 135 - 146.

[10]. Cheng, P., Wang, Y., Liu, T., Liu, D. (2017). *Biofilm Attached Cultivation of Chlorella pyrenoidosa Is a Developed System for Swine Wastewater Treatment and Lipid Production.* Frontiers in Plant Science, Volume 8.

[11]. Kesaano, M. (2015). *Characterization and performance of algal biofilms for wastewater treatment and industrial applications.* PhD thesis, Utah State University, USA.

[12]. Osorio, J. H. M, Pinto, G., Pollio, A., Frunzo, L., Lens, P. N. L., Esposito, G. (2019). *Start-up of a nutrient removal system using Scenedesmus vacuolatus and Chlorella vulgaris biofilms.* Bioresour - Bioprocess. (2019) 6:27.

[13]. Salama, E., Kurade, M. B., Abou - Shanab, R. A. I., El-Dalatony, M. M., Yang, I., Min, B., Jeon, B. (2017). *Recent progress in microalgal biomass production coupled with wastewater treatment for biofuel generation.* Renewable and Sustainable Energy Reviews 79 (2017) 1189 - 1211.

[14]. Woolsey, P. A. (2011). *Rotating Algal Biofilm Reactors: Mathematical Modeling and Lipid Production.* Utah State University, USA.

[15]. Halloum, I. (2016). *Microalgal biofilms for treatment of domestic wastewater and resource recovery.* Msc Thesis, Arizona State University, USA.

BBT nhận bài: 20/4/2020; Phản biện xong: 28/4/2020; Chấp nhận đăng: 26/6/2020