

NGHIÊN CỨU XỬ LÝ NƯỚC THẢI SINH HOẠT BẰNG HỆ HỖN HỢP VI KHUẨN VÀ VI TẢO

Nguyễn Thị Minh^{1,*}, Đỗ Thị Thuỳ¹, Lê Minh Nguyệt²

¹ Khoa Tài nguyên và Môi trường, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

² Khoa Công nghệ thực phẩm, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

*Email: nguyenminh@vnua.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu được tiến hành với mục đích tuyển chọn các chủng vi khuẩn hữu ích để kết hợp vi tảo xử lý nước thải sinh hoạt. Thông qua khảo sát hoạt tính sinh học theo phương pháp nuôi cấy trực tiếp ở các điều kiện khác nhau, đã tuyển chọn được 4 chủng vi khuẩn bao gồm: *Bacillus* sp. A1, *Pseudomonas* sp. A2, *Bacillus* sp. A3 và *Bacillus* sp. C2 có đặc tính sinh học tốt để phối hợp với hỗn hợp vi tảo dùng xử lý nước thải. Các chủng vi khuẩn tuyển chọn đều có khả năng sinh cả ba enzyme amylaza, proteaza và CMCaza, có sức chống chịu cao với mức kháng sinh 1.000 mg streptomycin/L, thích ứng pH và nhiệt độ rộng (pH 4 - 8 và nhiệt độ 30 - 50°C), có khả năng sinh trưởng mạnh trên các nguồn dinh dưỡng cacbon và nitơ khác nhau. Thử nghiệm xử lý nước thải sinh hoạt bằng hệ hỗn hợp vi khuẩn tuyển chọn kết hợp hỗn hợp vi tảo cho hiệu quả xử lý cao, trong đó hàm lượng COD trong nước thải chỉ còn 15,48 mg/l, đạt hiệu suất xử lý là 96,67% và hiệu suất đạt 94,32% đối với chỉ tiêu BOD₅. Các thông số khác bao gồm: TSS, tổng photphat và amoni ở công thức xử lý cũng đều giảm mạnh sau 14 ngày với hiệu suất đều đạt trên 90%. Đặc biệt, hiệu quả xử lý vi sinh vật gây hại của thử nghiệm đạt 99%, mật độ vi khuẩn *Coliform* trong nước thải sau 14 ngày xử lý nằm trong ngưỡng cho phép theo QCVN 14:2008 (cột A). Kết quả thử nghiệm cho thấy tiềm năng ứng dụng hệ hỗn hợp vi khuẩn và vi tảo hữu ích trong việc xử lý nước thải.

Từ khoá: Hỗn hợp vi khuẩn - vi tảo, nước thải sinh hoạt, vi khuẩn hữu ích, vi tảo, xử lý nước thải.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nước thải sinh hoạt (NTSH) bao gồm nước thải từ các hoạt động sinh hoạt của người dân, chủ yếu từ các hộ gia đình và các cơ sở kinh doanh dịch vụ. 30% tổng lượng nước thải được thải trực tiếp ra ao, hồ, kênh rạch rồi dẫn ra các lưu vực sông là nước thải sinh hoạt. Lượng nước thải phát sinh trên một đơn vị diện tích đất ở khu vực đô thị lớn hơn nhiều so với vùng nông thôn [1]. Đặc trưng của NTSH là có chứa nhiều các chất cặn bã hữu cơ, các chất hữu cơ hoà tan (thể hiện ở các thông số BOD₅/COD), các chất dinh dưỡng (nitơ, phospho), trong đó phần lớn các chất hữu cơ thuộc nhóm carbon hydrate, protein, lipid... là các chất dễ bị vi sinh vật phân huỷ, bốc mùi hôi thối và gây ô nhiễm môi trường. Bên cạnh đó, NTSH còn chứa nhiều dầu mỡ và các chất hoạt động bề mặt có nguồn gốc phát sinh do sử dụng các chất tẩy rửa trong sinh hoạt [2]. Mặt khác, với đặc tính chứa nhiều chất hữu cơ giàu dinh dưỡng dễ phân huỷ, NTSH còn chứa nhiều vi sinh vật bao gồm: Các nhóm vi khuẩn gây thối, vi khuẩn phân giải các hợp chất chứa cacbon, nitơ, vi khuẩn oxy hóa lưu huỳnh, các nhóm nấm

và các vi sinh vật gây bệnh khác (*E. coli*, *Salmonella*...), là nguồn lan truyền dịch bệnh gây ảnh hưởng tới sức khoẻ cộng đồng.

Những tiến bộ gần đây trong ứng dụng công nghệ sinh học, vi sinh vật đã nâng cao đáng kể hiệu quả quản lý nước thải, mang đến những giải pháp thay thế sáng tạo và bền vững cho các phương pháp xử lý truyền thống. Vi sinh vật (VSV) bao gồm vi khuẩn, nấm và tảo, ngày càng được công nhận về khả năng phân huỷ, chuyển hóa và loại bỏ một loạt các chất ô nhiễm như hợp chất hữu cơ, kim loại nặng và các chất gây ô nhiễm mới nổi từ nước thải. Các nghiên cứu tiên tiến đã đưa đến sự phát triển của các phương pháp mới như tăng cường sinh học, kích thích sinh học và sử dụng VSV biến đổi gen, giúp cải thiện hiệu quả, mang tính đặc hiệu và khả năng phục hồi của các quá trình xử lý sinh học [3]. VSV hữu ích có khả năng trao đổi chất, oxy hoá hoặc khử các hợp chất hữu cơ làm sạch nước thải [4]. Khả năng hấp thu nhiều chuyển hóa nhanh là cơ sở để nhiều công trình nghiên cứu ứng dụng VSV trong xử lý nước thải [5]. Bên cạnh đó, một số loại vi tảo như *Chlorella* sp. có thể sử dụng

nguồn dinh dưỡng và các chất ô nhiễm hữu cơ trong nước thải để sinh trưởng phát triển, vì vậy tảo là một trong những yếu tố làm giảm các chất hữu cơ ô nhiễm có trong nước thải, giảm phát thải CO₂ và tái chế tạo sinh khối có giá trị; là phương thức xử lý nước thải với chi phí thấp, thân thiện môi trường đang thu hút sự quan tâm đáng kể [6].

Nghiên cứu này được tiến hành với mục đích tuyển chọn các chủng vi khuẩn bản địa hữu ích để phối hợp với một số chủng vi tảo ứng dụng xử lý nước thải sinh hoạt, đồng thời có thể tận dụng nguồn nước thải để thu sinh khối vi tảo phục vụ cho sản xuất nông nghiệp theo hướng phát triển tuần hoàn bền vững.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Mẫu nghiên cứu dùng để phân lập giống vi khuẩn và thử nghiệm xử lý bao gồm các mẫu nước thải sinh hoạt quanh khu vực Học viện Nông nghiệp Việt Nam, xã Gia Lâm, Thành phố Hà Nội. Mẫu được thu và bảo quản, xử lý theo TCVN 6663-3:2016 [7].

Nghiên cứu sử dụng 3 chủng vi tảo gồm: *Chlorella vulgaris*, *Spirulina platensis* và *Scenedemus* sp. để phối hợp cùng các chủng vi khuẩn hữu ích được tuyển chọn để ứng dụng thử nghiệm xử lý nước thải sinh hoạt. Đặc điểm chính của các chủng vi tảo sử dụng được mô tả trong bảng 1.

Bảng 1. Đặc điểm các chủng vi tảo dùng xử lý nước thải

STT	Giống vi tảo	Đặc điểm sinh học
1	<i>Chlorell vulgaris</i>	Loại tảo đơn bào, không có tiêm mao, không có khả năng di động. Tế bào có dạng hình cầu hoặc oval. Kích cỡ tế bào từ 2 - 5 µm. Màng tế bào có vách cellulose bao bọc, có khả năng chịu được những tác động cơ học nhẹ. Sinh sản rất nhanh, không có sinh sản hữu tính
2	<i>Spirulina platensis</i>	Tảo lam đa bào, dạng sợi, gồm nhiều tế bào hình trụ xếp không phân nhánh. Đường kính tế bào từ 1 - 12 µm, chiều dài tế bào khoảng 10 µm và chiều dài chuỗi có thể đến 110 µm. Các sợi tảo có tính di động trượt dọc trục của chúng. <i>Spirulina</i> có dạng xoắn trong môi trường chất lỏng và có hình xoắn tròn ốc thật sự trong môi trường đặc
3	<i>Scenedemus</i> sp.	Một trong những chi vi tảo nước ngọt phổ biến nhất. Tuy nhiên, hình thái rất đa dạng được tìm thấy trong các loài thực sự xác định khó khăn

Nước thải sinh hoạt dùng để đánh giá hiệu quả xử lý của hỗn hợp vi khuẩn và vi tảo được lấy từ mương nước khu vực An Đào và Đào Nguyên, xã Gia Lâm, Thành phố Hà Nội. Đây là khu vực tập trung nước thải sinh hoạt của cư dân khu vực An Đào, Đào Nguyên và khu nhà ăn Ký túc xá Học viện Nông nghiệp Việt Nam.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp phân lập vi khuẩn

Phân lập vi khuẩn từ các mẫu nước thải theo phương pháp pha loãng Koch trên môi trường chuyên tính LB và thạch - pepton. Pha loãng 5 ml mẫu với 45 ml nước vô trùng, lắc đều 30 phút. Dịch pha loãng được cấy ria lên bề mặt thạch chứa môi trường chuyên tính cho từng chủng vi sinh vật, nuôi ở 28 - 30°C trong thời gian 24 - 72 giờ. Sau khi xuất hiện các khuẩn lạc, chọn các khuẩn lạc đơn dòng tách biệt, có hình dạng to, khỏe,... đặc trưng để làm thuần trên đĩa thạch chứa môi trường chuyên tính bán rắn tương ứng theo phương pháp cấy ria 3 pha, giữ giống trong môi trường thạch nghiêng ở 4°C. Tiến hành sàng lọc ban đầu thông qua việc phân biệt hình thái

vi khuẩn lạc, nhuộm tế bào và quan sát hình thái vi sinh vật qua kính hiển vi.

2.2.2. Tuyển chọn giống vi khuẩn

Tuyển chọn giống vi khuẩn thông qua đánh giá đặc tính sinh học bằng cách nuôi cấy trực tiếp trên môi trường chuyên tính ở các điều kiện khác nhau. Hoạt tính enzyme của các chủng vi khuẩn được xác định theo phương pháp khuếch tán trên đĩa thạch theo mô tả của Balouiri và cs (2016) [8]. Tài liệu này mô tả phương pháp khuếch tán trên đĩa thạch của Wiliam. Nuôi dịch chiết vi khuẩn trên máy lắc (tốc độ lắc 150 vòng/phút) ở điều kiện nhiệt độ phòng (28 - 30°C) trong thời gian 72 giờ để đánh giá hoạt tính enzyme. Môi trường thử hoạt tính enzyme amylase, CMCaza, proteaza chứa tinh bột, CMC, gelatin tương ứng với tỷ lệ 2% được hấp khử trùng ở 121°C, áp suất 1 atm trong vòng 20 phút. Để nhiệt độ giảm đến khoảng 55 - 60°C thì đổ ra các đĩa petri vô trùng với chiều dày 2 mm rồi để nguội. Dùng ống khoan đã khử trùng đục lỗ trên các đĩa thạch. Nhỏ 2 ml dịch chiết đã nuôi ở trên vào giếng thạch, để ủ ở điều kiện lạnh 5 - 6°C trong 6 giờ cho enzyme khuếch

tán vào trong thạch rồi đem ủ ở tủ định ôn 30°C trong vòng 48 giờ cho enzyme hoạt động. Sau đó nhuộm màu bằng thuốc thử lugol để đo vòng phân giải cơ chất. Đường kính vòng phân giải được tính bằng hiệu của cả vòng sáng đo được và kích thước của giếng thạch.

Khả năng chống chịu và thích ứng của các chủng vi khuẩn được xác định bằng cách nuôi cấy vi khuẩn trên môi trường chuyên tính trong các điều kiện thí nghiệm khác nhau về pH, nhiệt độ và nồng độ kháng sinh.

Khả năng thích ứng pH: Nuôi cấy các chủng VSV trên môi trường chuyên tính có bổ sung dịch đệm, được điều chỉnh pH bằng HCl và NaOH theo các giá trị pH: 4, 5, 6, 7, 8, 9. Sau đó, xác định mật độ vi khuẩn sau khoảng 48 - 72 giờ nuôi cấy ở 28°C.

Khả năng chịu nhiệt: Nuôi cấy các chủng VSV trên môi trường chuyên tính ở các mức nhiệt độ khác nhau: 20, 30, 40, 50, 60°C. Sau đó, xác định mật độ vi khuẩn sau khoảng 48 - 72 giờ nuôi cấy.

Khả năng kháng kháng sinh: Nuôi cấy các chủng VSV trên môi trường chuyên tính được bổ

sung kháng sinh Streptomycin ở các nồng độ: 0, 300, 500, 800, 1.000 mg/L môi trường. Sau đó, xác định mật độ vi khuẩn sau khoảng 48 - 72 giờ nuôi cấy. Sử dụng kháng sinh Streptomycin dạng bột tiêm lọ 1 g, sản xuất bởi Công ty Cổ phần Dược phẩm TW1 - Việt Nam.

Đánh giá nhanh khả năng tổ hợp của các chủng vi khuẩn bằng phương pháp cấy vạch giao nhau (Cross-streak) trên thạch đĩa cao thịt - pepton. Tại các điểm tiếp xúc giữa các chủng vi khuẩn không có hiện tượng ức chế sinh trưởng, chứng tỏ các chủng vi khuẩn này không đối kháng lẫn nhau, có thể cùng tồn tại trong hỗn hợp xử lý.

Đánh giá khả năng sinh trưởng của các chủng vi khuẩn được lựa chọn trên các nguồn dinh dưỡng cacbon và nitơ khác nhau. Xác định mật độ vi khuẩn bằng phương pháp đếm đĩa sau 24 - 48 giờ nuôi cấy. Các vi khuẩn tuyển chọn được phân loại sơ bộ theo khoá phân loại của Bercay [9].

2.2.3. Phương pháp bố trí thử nghiệm xử lý nước thải sinh hoạt bằng hệ hỗn hợp vi khuẩn và vi tảo

Bảng 2. Phương pháp phân tích chất lượng nước thải

STT	Chỉ tiêu	Phương pháp	TCVN
1	pH	Sử dụng chất chỉ thị màu, hoặc máy đo pH	TCVN 6492:2011 [13]
2	COD	Đo bằng tác nhân oxy hoá mạnh	TCVN 6491:1999 [14]
3	BOD ₅	Phương pháp chai đo BOD Oxitop	TCVN 6001-1:2021 [15]
4	TSS	TSS được xác định theo phương pháp khối lượng	TCVN 6625:2000 [16]
5	Tổng N	Phương pháp Kjeldahl	TCVN 5987:1995 [17]
6	Tổng P	Phương pháp đo phổ	TCVN 6202:2008 [18]
7	Coliform	Phương pháp đếm số có xác suất lớn nhất	TCVN 6187-2:2020 [19]
8	N/NH ₄ ⁺	Phương pháp chưng cất và chuẩn độ	TCVN 5988:1995 [20]
9	PO ₄ ³⁻	Phương pháp đo phổ dùng Amoni molipdat	TCVN 6202:2008 [18]

Thử nghiệm xử lý nước thải sinh hoạt bằng hệ hỗn hợp vi khuẩn và vi tảo trong điều kiện bán hảo khí. Mô hình xử lý nước thải được thiết kế trên quy mô phòng thí nghiệm với các bình chứa 1.000 ml nước thải sinh hoạt gồm 4 công thức, mỗi công thức lặp lại 5 lần.

CT1: Công thức đối chứng (không sử dụng VSV).

CT2: Sử dụng hỗn hợp vi khuẩn tuyển chọn.

CT3: Sử dụng hỗn hợp vi tảo.

CT4: Sử dụng hệ hỗn hợp vi khuẩn + vi tảo.

Tiến hành nuôi cấy các chủng vi khuẩn trên môi trường pepton - thạch, vi tảo *Chlorella vulgaris* và *Scenedemus* sp. trên môi trường BBM, chủng *Spirulina platensis* trên môi trường Zarrouk trước khi bố trí thí nghiệm. Hỗn

hợp vi khuẩn, vi tảo và hệ vi khuẩn - vi tảo được bổ sung vào các bình thử nghiệm với tỷ lệ 1% theo các công thức tương ứng. Các bình thí nghiệm sau xử lý không đậy nắp và được khuấy đảo định kỳ 5 ngày/lần để tăng độ thoáng khí. Mô hình được theo dõi liên tục và phân tích chất lượng nước sau 14 ngày xử lý để đánh giá hiệu quả xử lý. Nước thải được lấy mẫu theo TCVN 5999-1995 [10]. Phân tích các chỉ tiêu chất lượng nước thải sinh hoạt theo các TCVN được thể hiện ở bảng 2 dựa trên cơ sở quy định của QCVN 14:2008/BTNMT [11] và TCVN 6772:2000 [12].

Kết quả nghiên cứu được xử lý thống kê bằng phần mềm Microsoft Excel 2016 và theo chương trình IRRISTAT 5.0.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân lập vi khuẩn từ nước thải sinh hoạt

Từ 5 mẫu NTSH khu vực quanh Học viện Nông nghiệp Việt Nam đã phân lập được 28

chủng vi khuẩn có các đặc điểm hình thái, kích thước và màu sắc khuẩn lạc khác nhau (Bảng 3) trên hai môi trường chuyên tính LB và Peptone-thạch.

Bảng 3. Đặc điểm của các chủng được vi khuẩn phân lập

Kí hiệu	Nguồn phân lập	Thời gian hình thành khuẩn lạc (giờ)	Kích thước khuẩn lạc sau 5 ngày (mm)	Môi trường	Hình thái khuẩn lạc
A1	NTSH An Đào	24	2,8	LB	Bề mặt trơn ướt, màu trắng đục, lõm, khuẩn lạc to
A2	NTSH An Đào	24	2,6	LB	Uớt nhầy, lõi, trắng trong, mép ngoài đều, khuẩn lạc to
A3	NTSH An Đào	17	3,5	LB	Uớt nhầy, lõi, trắng sữa, khuẩn lạc to
A4	NTSH An Đào	24	2,4	Peptone - thạch	Uớt nhầy, lõi, trắng đục
A5	NTSH An Đào	48	2,1	Peptone - thạch	Uớt nhầy, lõm, mép ngoài tròn đều
K1	Nước thải nhà ăn ký túc xá	28	1,9	LB	Trơn, uớt nhầy, lõi, màu trắng hồng, mép ngoài tròn đều
K2	Nước thải nhà ăn ký túc xá	24	1,7	Peptone - thạch	Trơn, uớt nhầy, lõi, màu trắng vàng, mép ngoài tròn đều
K3	Nước thải nhà ăn ký túc xá	48	1,9	LB	Trơn, uớt nhầy, lõi, màu trắng đục, mép ngoài đều
K4	Nước thải nhà ăn ký túc xá	48	1,5	Peptone - thạch	Trơn, uớt nhầy, lõm, mép ngoài đều, màu trắng vàng
K5	Nước thải nhà ăn ký túc xá	48	1,5	LB	Trơn, uớt nhầy, lõm, màu trắng trong, khuẩn lạc bé
D1	Hồ trước NĐ	18	1,8	LB	Trơn, uớt nhầy, lõi, màu trắng vàng, mép ngoài đều
D2	Hồ trước NĐ	24	1,5	LB	Trơn, uớt nhầy, lõi, màu trắng đục, mép ngoài đều
D3	Hồ trước NĐ	24	1,6	LB	Trơn, uớt nhầy, lõm, màu trắng đục, mép ngoài đều
D4	Hồ trước NĐ	24	2,3	Peptone - thạch	Trơn, uớt nhầy, lõi, màu trắng hồng
D5	Hồ trước NĐ	48	2,6	LB	Trơn, uớt nhầy, lõi, màu trắng trong, khuẩn lạc to
N1	Nhà hàng Nét Việt	72	1,9	Peptone - thạch	Trơn, uớt nhầy, lõi, màu trắng trong, mép ngoài đều
N2	Nhà hàng Nét Việt	48	1,8	LB	Trơn, uớt nhầy, lõi, màu trắng vàng
N3	Nhà hàng Nét Việt	48	2,2	Peptone - thạch	Trơn, uớt nhầy, lõi, màu trắng trong
N4	Nhà hàng Nét Việt	24	2,2	Peptone - thạch	Trơn, uớt nhầy, lõm, mép ngoài đều
N5	Nhà hàng Nét Việt	48	1,8	LB	Trơn, uớt nhầy, lõm, màu trắng vàng, mép ngoài đều
C1	Hồ trước GĐC	25	1,9	LB	Trơn, uớt nhầy, lõm, mép ngoài tròn đều, màu trắng đục

Kí hiệu	Nguồn phân lập	Thời gian hình thành khuẩn lạc (giờ)	Kích thước khuẩn lạc sau 5 ngày (mm)	Môi trường	Hình thái khuẩn lạc
C2	Hồ trước GĐC	48	1,9	LB	Trơn, ướt nhầy, lồi, màu trắng trong, mép ngoài tròn đều
C3	Hồ trước GĐC	24	1,4	Peptone - thạch	Trơn, ướt nhầy, lồi, màu trắng vàng, khuẩn lạc nhỏ
C4	Hồ trước GĐC	24	1,8	Peptone - thạch	Trơn, ướt nhầy, lõm, màu trắng hồng, mép ngoài tròn đều
C5	Hồ trước GĐC	48	1,9	LB	Trơn, ướt nhầy, lồi, mép ngoài, mép ngoài đều, màu trắng đục
C6	Hồ trước GĐC	48	2,1	LB	Trơn, ướt nhầy, lồi, màu trắng hồng, mép ngoài đều
C7	Hồ trước GĐC	48	1,4	LB	Trơn, ướt nhầy, lõm, màu trắng hồng, khuẩn lạc nhỏ
C8	Hồ trước GĐC	48	1,4	Peptone - thạch	Trơn, ướt nhầy, lồi, mép ngoài đều, khuẩn lạc nhỏ

Ghi chú: NTSH: Nước thải sinh hoạt; ND: Nguyễn Đăng; GĐC: Giảng đường C.

Kết quả thu được cho thấy, 28 chủng vi khuẩn phân lập được khá đa dạng về hình thái học và thuộc nhóm vi khuẩn sinh trưởng nhanh, hình thành khuẩn lạc trong vòng 72 giờ nuôi cấy, trong đó có 13/28 chủng sinh trưởng cực nhanh, xuất hiện khuẩn lạc trong vòng chỉ 24 giờ (chiếm 46,43%). Một số chủng vi khuẩn có đường kính khuẩn lạc khá lớn sau 5 ngày nuôi cấy, đạt trên 2 mm (chiếm 35,71%). Kết quả sàng lọc vi khuẩn

trong nghiên cứu này khá tương đồng với kết quả nghiên cứu của Trương Vũ Luân và cs (2023) [21], đã phân lập được 24 dòng vi khuẩn khác nhau có khả năng hấp thu ammonium từ hệ thống xử lý nước thải chế biến thủy sản giàu chất hữu cơ.

3.2. Đặc tính sinh học của các chủng vi khuẩn phân lập được

3.2.1. Hoạt tính sinh enzyme của vi khuẩn

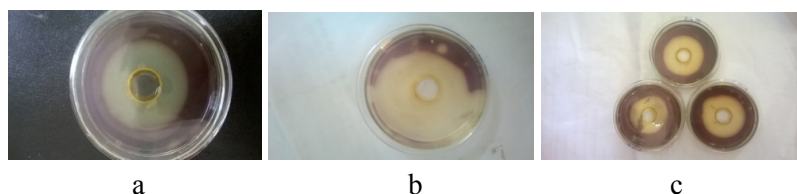
Bảng 4. Mức độ sinh enzyme ngoại bào của vi khuẩn phân lập được

Mức độ phân giải	Đường kính vòng phân giải (cm)	Số chủng sinh enzyme ngoại bào					
		Amylaza	Tỉ lệ (%)	Proteaza	Tỉ lệ (%)	CMCaza	Tỉ lệ (%)
Yếu	< 1,0	6	21,4	0	0	0	0
Trung Bình	1 - 1,5	9	32,1	7	25	15	53,5
Khá	1,5 - 2,0	5	17,9	11	39,3	5	17,9
Mạnh	> 2,0	8	28,6	10	35,7	8	28,6

Kết quả đánh giá hoạt tính sinh enzyme ngoại bào theo phương pháp khuếch tán trên đĩa thạch [8] cho thấy, tất cả 28 chủng vi khuẩn phân lập được đều thể hiện khả năng phân giải tinh bột, protein và xellulo-CMC ở các mức độ khác nhau (Bảng 4). Đa số các chủng vi khuẩn sinh enzyme amylaza ở mức yếu và trung bình (chiếm 54,5%). Trong khi đó, có tới 75% các chủng vi khuẩn có khả năng sinh enzyme proteaza ở mức khá và mạnh, với đường kính vòng phân giải đạt từ 1,5 đến hơn 2 cm. Khả năng sinh enzyme CMCaza của các chủng vi khuẩn ở mức trung bình đến

mạnh, trong đó số chủng phân giải khá chiếm 17,9% và mạnh chiếm 28,6%.

Từ kết quả đánh giá khả năng sinh enzyme ngoại bào của các chủng vi khuẩn, đã sàng lọc được 8 chủng vi khuẩn có khả năng phân giải chất hữu cơ mạnh nhất xét trên hoạt tính của cả 3 loại enzyme amylaza, proteaza và CMCaza (với kích thước vòng phân giải $\geq 2,0$ cm). Trong đó, nhiều chủng có khả năng phân giải chất hữu cơ cao, thể hiện đường kính vòng phân giải cơ chất đạt > 2,5 đến > 3 cm được lựa chọn phục vụ cho nghiên cứu tiếp theo bao gồm các chủng: A1, A2, A3, K5, D1, N1, N4 và C2 (Bảng 5).



Hình 1. Hoạt tính enzyme của vi sinh vật: a) CMCaza; b) Proteaza; c) Amylaza

Khả năng sinh enzyme phân giải chất hữu cơ của các chủng vi khuẩn được khảo sát có sự tương đồng với kết quả nghiên cứu của Đặng Quang Hải và Trần Thị Thanh Thủy (2022) [22], khi các chủng vi khuẩn được chọn lọc đều thể hiện 3 loại hoạt tính enzyme. Tuy nhiên, khả năng phân giải từng cơ chất của các chủng vi khuẩn

trong nghiên cứu này có phần cao hơn vì khuẩn được tuyển chọn trong nghiên cứu của Đặng Quang Hải và Trần Thị Thanh Thủy (2022) [22], với vòng phân giải chỉ đạt 0,97 - 2,38 cm và cao hơn kết quả nghiên cứu của Đinh Hồng Duyên và cs (2017) [23], với đường kính vòng phân giải cellulose và protein lớn nhất khoảng 3,0 - 3,15 cm.

Bảng 5. Khả năng sinh enzyme của các chủng vi khuẩn được sàng lọc

STT	Kí hiệu	Hoạt tính enzyme (Đ vòng phân giải cm)		
		Amylaza	Proteaza	CMCaza
1	A1	2,45 ± 0,46	3,25 ± 0,15	2,61 ± 0,31
2	A2	2,15 ± 0,33	3,45 ± 0,26	2,74 ± 0,42
3	A3	2,05 ± 0,19	2,81 ± 0,22	2,73 ± 0,35
4	K5	2,10 ± 0,24	2,62 ± 0,45	2,02 ± 0,28
5	D1	3,55 ± 0,43	3,95 ± 0,23	2,63 ± 0,30
6	N1	2,05 ± 0,50	2,95 ± 0,17	2,60 ± 0,23
7	N4	2,25 ± 0,22	2,95 ± 0,29	2,63 ± 0,40
8	C2	2,64 ± 0,40	3,53 ± 0,37	3,05 ± 0,25

3.2.2. Khả năng thích ứng của vi khuẩn

- Khả năng kháng kháng sinh

Kết quả phân tích mật độ vi khuẩn trong môi trường có bổ sung kháng sinh Streptomycin ở các nồng độ khác nhau trong bảng 6 cho thấy, ba chủng A1, A2, A3 có sức chống chịu với kháng sinh cao khi chúng đều sinh trưởng tốt ở nồng độ kháng sinh 1.000 mg/L, tương tự như kết quả nghiên cứu của Đinh Hồng Duyên và cs (2017) [23]. Đặc biệt, hai chủng A1 và A3 có khả năng kháng kháng sinh tốt nhất với mật độ

tế bào ở nồng độ kháng sinh 1.000 mg/L đạt $10,2 - 154,6 \times 10^6$ CFU/ml. Chủng D1 có sức chống chịu với kháng sinh kém nhất, ở mức liều lượng Streptomycin thấp (300 mg/l) chỉ đạt $0,3 \times 10^6$ CFU/ml. Mật độ tế bào các chủng vi khuẩn giảm dần khi tăng nồng độ chất kháng sinh trong môi trường nuôi cấy. Chủng vi sinh vật nào kháng kháng sinh cao sẽ có khả năng cạnh tranh tốt và chống chịu cao hơn với điều kiện môi trường sống bất lợi và thể hiện được năng lực của chúng [2].

Bảng 6. Khả năng kháng kháng sinh của các chủng vi khuẩn (CFU x 10^6 /ml)

STT	Kí hiệu	Mật độ VSV ở các mức kháng sinh (mg/l)			
		300	500	800	1.000
1	A1	180,2	81,3	63,5	10,2
2	A2	46,1	22,3	12,3	4,3
3	A3	120,1	210,5	183,1	154,6
4	K5	1,6	0,6	0,1	-
5	D1	0,3	-	-	-
6	N1	1,2	0,3	-	-
7	N4	1,3	0,1	-	-
8	C2	2,4	1,3	0,4	-

- Khả năng thích ứng pH

Trong quá trình xử lý chất thải hữu cơ, yếu tố sinh học như khả năng sinh enzyme có tính

quyết định đến tốc độ phân huỷ cơ chất. Ngoài ra, một số yếu tố phi sinh học khác như pH và nhiệt độ môi trường do tác động trực tiếp đến

VSV thực hiện quá trình phân giải và chuyển hoá các phức chất nên cũng ảnh hưởng đến sự phân huỷ chất hữu cơ. Chính vì vậy, khả năng

thích ứng với sự thay đổi của pH và nhiệt độ cũng cần được đánh giá trong quá trình tuyển chọn giống VSV.

Bảng 7. Khả năng thích ứng pH của các chủng vi khuẩn

STT	Kí hiệu	Mật độ tế bào ở các mức pH (CFU x 10 ⁷ /ml)				
		4	5	6	7	8
1	A1	7,6	6,1	8,0	5,2	8,2
2	A2	4,4	3,5	5,8	4,5	5,1
3	A3	1,4	5,6	8,6	2,4	1,8
4	K5	1,2	2,1	2,4	1,7	0,8
5	D1	21,4	25,0	25,6	22,8	19,6
6	N1	2,1	1,8	2,4	2,1	1,7
7	N4	3,6	4,7	3,1	2,6	2,9
8	C2	40,8	47,0	47,8	42,2	39,6

Kết quả nuôi cấy trên môi trường chuyên tính ở các mức pH khác nhau cho thấy, 8 chủng vi khuẩn khảo sát thuộc nhóm vi khuẩn ưa axit nhẹ đến trung tính, cả 8 chủng đều có khả năng sinh trưởng, phát triển trong dải pH 4 - 8 (Bảng 7). Trong đó, các chủng có khả năng sinh trưởng, phát triển tốt, thích ứng pH rộng (4 - 8) bao gồm D1 và C2 với mật độ khuẩn lạc cao nhất đạt 47,8 x 10⁷ CFU/ml, cao hơn hẳn các chủng còn lại. Hai chủng A3 và K5 sinh trưởng, phát triển yếu hơn so với các chủng khác, với mật độ khuẩn lạc đều dưới 9,0 x 10⁷ CFU/ml. Trong 8 chủng vi khuẩn thì có tới 6 chủng sinh trưởng, phát triển mạnh nhất ở mức pH = 6; 2 chủng A1 và N4 có mức pH tối ưu lần lượt là 8 và 5. Kết quả này

tương đồng với kết quả nghiên cứu của Đinh Hồng Duyên và cs (2017) [23], cho thấy vi khuẩn phát triển thích hợp ở pH từ 6 - 7.

- Khả năng chịu nhiệt của vi khuẩn

Cùng với sự biến đổi của khí hậu, nhiệt độ môi trường đang có xu hướng gia tăng và có sự biến động lớn giữa các mùa trong năm và giữa các vùng sinh thái khác nhau. Vì vậy, VSV có khả năng thích ứng nhiệt độ rộng và chịu nhiệt cao sẽ có lợi thế cạnh tranh phát triển trong môi trường sống. Thí nghiệm đánh giá khả năng thích ứng nhiệt độ của vi khuẩn được thực hiện nuôi cấy ở 5 chế độ nhiệt độ khác nhau, kết quả được trình bày ở bảng 8.

Bảng 8. Khả năng chịu nhiệt của các chủng vi khuẩn (CFU x 10⁶/ml)

STT	Kí hiệu	Số lượng khuẩn lạc (CFU/ml x 10 ⁶)					Nhiệt độ thích hợp (°C)
		20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	
1	A1	3,5	19,0	29,5	25,3	2,1	30 - 50
2	A2	2,5	15,0	27,5	21,5	4,5	30 - 50
3	A3	8,2	45,4	40,1	32,0	11,3	20 - 60
4	K5	0,3	6,3	18,5	15,5	-	30 - 50
5	D1	10,3	23,3	36,0	29,3	-	20 - 50
6	N1	8,4	18,3	24,3	18,3	10,3	20 - 60
7	N4	4,0	17,3	21,5	17,5	2,5	30 - 50
8	C2	10,3	41,3	37,5	36,3	24,0	20 - 60

Kết quả cho thấy, các chủng vi khuẩn sàng lọc được đều thích ứng sinh trưởng ở khoảng nhiệt độ 30 - 50°C. Ở mức nhiệt độ 20°C, mật độ vi khuẩn chỉ đạt từ 0,3 x 10⁶ - 10,3 x 10⁶ CFU/ml và tăng dần khi nhiệt độ tăng đến mức 40°C với mật độ đạt từ 18,5 x 10⁶ - 40,1 x 10⁶ CFU/ml. Mật độ vi khuẩn bắt đầu giảm dần khi tăng nhiệt độ lên mức 50°C và giảm mạnh khi nhiệt độ tăng đến 60°C, thậm chí 2 chủng K5 và D1 không xuất hiện khuẩn lạc ở mức nhiệt độ cao này. Tuy

niên, các chủng vi khuẩn được khảo sát trong nghiên cứu này vẫn thuộc nhóm có khả năng thích ứng nhiệt độ tốt và chịu nhiệt cao, khá tương đồng với kết quả nghiên cứu tuyển chọn vi khuẩn để phân huỷ phụ phẩm quả vải sau thu hoạch của Đinh Hồng Duyên và cs (2017) [23].

- Khả năng sinh trưởng trên các nguồn dinh dưỡng khác nhau

Sự phát triển trên môi trường nuôi cấy của các chủng vi khuẩn có sự khác nhau đối với từng

chúng và tùy nguồn dinh dưỡng (Bảng 9).

Nhìn chung, cả 8 chủng vi khuẩn đều có khả năng đồng hóa nhiều nguồn dinh dưỡng cacbon và nitơ khác nhau. Trong đó, 4 chủng: A1, A2, A3 và C2 đều sinh trưởng mạnh trên tất cả các nguồn dinh dưỡng cacbon với mật độ khuẩn lạc lên đến $122,3 \times 10^6$ - $270,1 \times 10^6$ CFU/ml. Đây

cũng là các chủng có khả năng sinh trưởng mạnh trên cả môi trường được bổ sung các nguồn dinh dưỡng nitơ hữu cơ lẫn nitơ vô cơ với mật độ tế bào đạt $> 92 \times 10^6$ CFU/ml. Điều này chứng tỏ, các chủng vi khuẩn này dễ phát triển và có sức sống cao trong các điều kiện dinh dưỡng thực tế khác nhau của nước thải ô nhiễm chất vô cơ và hữu cơ.

Bảng 9. Khả năng sinh trưởng trên các nguồn dinh dưỡng cacbon và nitơ của vi khuẩn

STT	Ký hiệu	Sinh trưởng trên các nguồn dinh dưỡng C ($\times 10^6$ CFU/ml)				Sinh trưởng trên các nguồn dinh dưỡng N ($\times 10^6$ CFU/ml)			
		Tinh bột	Glucozo	Saccarozo	Mannitol	(NH ₄) ₂ SO ₄	KNO ₃	Peptone	Cao nấm men
1	A1	162,6	162,1	162,1	162,1	96,1	94,3	110,7	1,31
2	A2	122,3	122,3	122,3	58,5	60,4	11,2	116,2	116,4
3	A3	201,3	270,1	96,4	78,2	98,3	168,5	280,4	211,7
4	K5	63,3	10,1	14,4	12,5	4,3	9,8	14,5	11,3
5	D1	0,1	8,3	2,5	0,3	0,2	0,4	12,6	18,2
6	N1	8,7	2,4	0,3	6,7	13,5	9,7	2,4	3,4
7	N4	1,8	25,3	50,5	20,3	7,2	6,2	3,4	5,3
8	C2	146,6	210,2	184,7	120,1	54,6	92,8	140,5	1,84

Dựa trên kết quả tổng hợp đánh giá hoạt tính sinh enzyme ngoại bào, khả năng chống chịu và khả năng thích ứng của vi khuẩn, 4 chủng vi khuẩn có hoạt tính sinh học tốt nhất được lựa chọn bao gồm chủng: A1, A2, A3 và C2 (Bảng 10) để làm giống vi khuẩn kết hợp với tổ hợp vi tảo dùng xử lý nước thải sinh hoạt. Nhìn chung, các chủng tuyển chọn đều có khả năng sinh

enzyme ngoại bào cao (vòng phân giải > 2 cm), thích ứng ở dải pH và nhiệt độ rộng, có thể sinh trưởng, phát triển tốt ở nhiều nguồn dinh dưỡng khác nhau, thể hiện là những chủng vi khuẩn có khả năng cạnh tranh cao, sức sống tốt và có tiềm năng cho hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt nổi riêng và nước thải giàu chất hữu cơ nói chung.

Bảng 10. Đặc tính sinh học của các chủng vi khuẩn được tuyển chọn

Kí hiệu	Nguồn dinh dưỡng C, N	pH	Nhiệt độ (°C)	Thời gian (giờ)	Kích thước khuẩn lạc (mm)	Đặc điểm sinh học	Phân loại sơ bộ
A1	Tinh bột, đường, peptone, cao nấm men, (NH ₄) ₂ SO ₄	4 - 8	30 - 50	24	2,8	Gram (+), dạng que di động, hình thành bào tử, khuẩn lạc to màu trắng đục, bề mặt lõm, trơn, ướt	<i>Bacillus</i> sp. A1
A2	Tinh bột, đường, peptone, cao nấm men	4 - 8	30 - 50	24	2,6	Gram (-), tế bào có dạng trực khuẩn hình que, thường xếp đôi, khuẩn lạc màu trắng, tròn, bóng, nhầy, lồi	<i>Pseudomonas</i> sp. A2
A3	Tinh bột, đường, peptone	4 - 8	20 - 50	17	3,5	Gram (+), sinh nha bào, có khả năng di động, có tiên mao, khuẩn lạc trắng, ướt nhầy, lồi	<i>Bacillus</i> sp. A2
C2	Tinh bột, peptone, cao nấm men	4 - 8	20 - 50	48	1,9	Gram (+), sinh nội bào tử, không tạo giáp mô, không di động; khuẩn lạc trơn, ướt, nhầy, lồi, trắng trong, mép tròn đều	<i>Bacillus</i> sp. C2

- Khả năng tổ hợp của các chủng vi khuẩn tuyển chọn được

Kết quả khảo sát khả năng tổ hợp của 4 chủng vi khuẩn A1, A2, A3 và C2 cho thấy, các chủng vi khuẩn tuyển chọn không có sự đối kháng lẫn nhau, tại các điểm giao nhau của đường cấy không thấy xuất hiện các vùng đối kháng, khuẩn lạc của các chủng vi khuẩn này phát triển rõ nét và mang đầy đủ các đặc điểm ban đầu. Như vậy, bốn chủng vi khuẩn tuyển chọn hoàn toàn có thể tạo thành tổ hợp vi khuẩn hữu ích cùng phân giải chuyển hóa chất hữu cơ, ứng dụng trong xử lý NTSH.

3.2.3. Hiệu quả xử lý NTSH của hỗn hợp vi tảo và vi khuẩn quy mô phòng thí nghiệm

Sau 14 ngày thử nghiệm xử lý NTSH bằng hỗn hợp vi khuẩn và vi tảo với tỷ lệ 2%, thực hiện lấy mẫu và phân tích chất lượng nước, kết quả xử lý được thể hiện trong bảng 11.

Số liệu phân tích cho thấy, NTSH tại khu vực quanh xã Gia Lâm, Thành phố Hà Nội có nồng độ chất ô nhiễm tương đối cao, tất cả các thông số trừ pH đều vượt ngưỡng quy định tại QCVN 14:2008 (cột A) [11] nhiều lần. Đặc biệt là hàm lượng chất hữu cơ (giá trị COD 465 mg/l vượt QCVN 14:2008 (cột A) [11] 9,3 lần, giá trị BOD₅ cao gấp 9,6 lần ngưỡng cho phép) và mật độ vi khuẩn gây hại cao gấp 10⁴ lần so với quy định.

Bảng 11. Kết quả phân tích chất lượng nước thải sau 14 ngày xử lý bằng hệ vi khuẩn và vi tảo

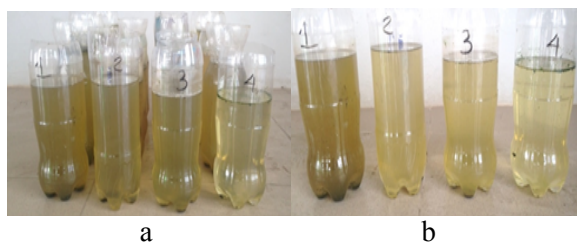
Bảng 11: Kết quả phân tích chất lượng nước thải sau 14 ngày xử lý bằng hệ vi khuẩn và vi tảo

Chi tiêu	Kết quả phân tích									QCVN 14:2008 (cột A) [11]	LSD ₅ %	CV%
	Đầu vào	CT1		CT2		CT3		CT4				
		Thông số	Hiệu suất (%)	Thông số	Hiệu suất (%)	Thông số	Hiệu suất (%)	Thông số	Hiệu suất (%)			
pH	7,82	7,63	2,43	7,51	3,96	7,62	2,56	7,32	6,39	5 - 9	0,12	1,2
COD (mg/l)	465	440	5,38	48,11	89,65	32,52	93,01	15,48	96,67	50	6,72	3,6
BOD ₅ (mg/l)	289	265,32	8,19	27,21	90,58	21,34	92,62	16,67	94,23	30	1,68	1,5
TSS (mg/l)	115	105,02	8,68	11,53	89,97	12,77	88,90	3,05	97,35	50	3,05	1,5
Tổng N (mg/l)	118,42	118,23	0,16	12,18	89,71	15,75	86,70	6,81	94,25	30	0,71	1,3
Tổng P (mg/l)	23,62	23,02	2,54	4,06	82,81	2,48	89,50	0,71	96,99	6	0,70	2,4
Tổng Coliform MPN/100ml	4x10 ⁷	3,62x10 ⁷	9,50	2651	99,99	3020	99,99	2432	99,99	3000	978	7,8
Amoni (mg/l)	26,2	25,28	3,51	2,73	89,58	4,09	84,39	0,52	98,02	5	0,52	2,9
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	31,6	29,91	5,35	3,46	89,05	3,93	87,56	3,34	89,43	6	3,34	1,5

Sau 14 ngày bổ sung hỗn hợp vi khuẩn và vi tảo vào các bình chứa NTSH (CT2, CT3, CT4) đều cho thấy rõ hiệu quả xử lý chất thải hữu cơ và vô cơ của các nhóm vi khuẩn và vi tảo được sử dụng (hiệu quả xử lý lớn hơn 95%) và giá trị các thông số phân tích đều nằm trong giới hạn cho phép. Cụ thể, CT4 (sử dụng hỗn hợp vi khuẩn và vi tảo) có hàm lượng COD trong nước thải còn lại là 15,48 mg/l, đạt hiệu suất xử lý là 96,67% và hiệu suất đạt 94,32% đối với chỉ tiêu BOD₅. Các thông số khác bao gồm: TSS, photphat và amoni ở CT4 cũng đều giảm mạnh sau 14 ngày xử lý, với hiệu suất đều đạt trên 90%, thậm chí đạt hiệu

suất đến 99,99% với chỉ tiêu xử lý VSV gây hại có trong nước thải.

Mặc dù hiệu suất xử lý không cao bằng CT4 khi sử dụng kết hợp hệ vi khuẩn và vi tảo nhưng kết quả trong bảng 11 cũng cho thấy rõ hiệu quả xử lý NTSH khi sử dụng riêng rẽ hệ hỗn hợp vi khuẩn (CT2) và vi tảo (CT3) và hiệu suất xử lý của hai công thức này cũng khá cao, đạt từ 83% trở lên. Đặc biệt, hiệu quả xử lý VSV gây hại của cả ba công thức thí nghiệm đều đạt 99%, kết quả phân tích mật độ vi khuẩn *Coliform* trong nước sau 14 ngày xử lý đều nằm trong ngưỡng cho phép tại QCVN 14:2008 (cột A) [11].



Hình 2. Nước thải sau xử lý:
a) 8 ngày; b) 14 ngày

Nhìn chung, các chủng vi khuẩn và vi tảo sử dụng trong nghiên cứu này đều có khả năng phân giải chuyên hóa chất hữu cơ, làm giảm sự ô nhiễm trong NTSH. Sử dụng riêng lẻ hai hệ hỗn hợp vi khuẩn và vi tảo đều cho hiệu quả xử lý chất hữu cơ khá tốt. Tuy nhiên, khi kết hợp hỗn hợp vi khuẩn và vi tảo cho hiệu quả cao hơn rất nhiều với hiệu suất xử lý NTSH rất cao, có tiềm năng ứng dụng vào thực tế xử lý nước thải ô nhiễm chất hữu cơ và vô cơ.

4. KẾT LUẬN

Từ 5 mẫu NTSH xung quanh khu vực xã Gia Lâm, Thành phố Hà Nội, đã phân lập được 28 chủng vi khuẩn, trong đó 8 chủng có khả năng sinh cả ba enzyme amylaza, proteaza và CMCaza, thuộc nhóm vi khuẩn ưa axit nhẹ đến trung tính, có khả năng sinh trưởng, phát triển ở khoảng pH rộng (pH 4 - 8) và thích ứng khoảng nhiệt độ 30 - 50°C. Từ đó, đã tuyển chọn được 4 chủng vi khuẩn bao gồm: 3 chủng *Bacillus* (*Bacillus* sp. A1, *Bacillus* sp. A3, *Bacillus* sp. C2) và *Pseudomonas* sp. A2 có hoạt tính sinh học tốt nhất, với khả năng phân giải chất hữu cơ cao (đường kính vòng phân giải 3 loại cơ chất đều > 2 cm), thích ứng pH và nhiệt độ rộng, sinh trưởng tốt trên cả nguồn dinh dưỡng hữu cơ và vô cơ và không đối kháng nhau để làm giống vi khuẩn dùng cho xử lý NTSH.

Thử nghiệm xử lý NTSH bằng hệ vi khuẩn, vi tảo và hệ hỗn hợp vi khuẩn kết hợp vi tảo cho kết quả xử lý tốt, hiệu quả xử lý NTSH quy mô phòng thí nghiệm đều cao hơn 95%. Ở CT4 (sử dụng hỗn hợp vi khuẩn và vi tảo), hàm lượng COD trong nước thải chỉ còn 15,48 mg/l, đạt hiệu suất xử lý là 96,67% và hiệu suất đạt 94,32% đối với chỉ tiêu BOD₅. Các thông số khác bao gồm TSS, hàm lượng photphat và amoni ở CT4 cũng đều giảm mạnh sau 14 ngày xử lý với hiệu suất đều đạt trên 90%. Đặc biệt, hiệu quả xử lý VSV gây hại của cả ba công thức thí nghiệm đều đạt 99%. Kết quả phân tích chất lượng nước thải sau

14 ngày xử lý đều nằm trong ngưỡng cho phép tại QCVN 14:2008 (cột A), cho thấy tiềm năng ứng dụng hệ hỗn hợp vi khuẩn và vi tảo trong xử lý NTSH nói riêng và nước thải ô nhiễm chất hữu cơ và vô cơ nói chung.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ Tài Nguyên và Môi Trường (2018). *Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia năm 2018. Chuyên đề: Môi trường nước các lưu vực sông*.
- [2]. Nguyễn Xuân Thành, Đinh Hồng Duyên, Phan Quốc Hưng, Vũ Thị Xuân Hương (2014). *Giáo trình Công nghệ sinh học xử lý môi trường*. Nxb Lao động - Xã hội.
- [3]. Tarun Mishra, Pankaj Bharat Tiwari, Swarna Kanchan, Minu Kesheri (2025). Advances in microbial bioremediation for effective wastewater treatment. *Water*, 17(22), 3196. <https://doi.org/10.3390/w17223196>.
- [4]. Salishcheva Olesya, Anastasia Burlachenko, Yuliya Tarasova, Natalia Moldagulova (2023). Biodegradation of organic compound in waste water. *Bio Web of Conferences*, 64, 1 - 7. DOI: 10.1051/bioconf/20236401003.
- [5]. Lương Đức Phẩm (2007). *Công nghệ xử lý nước thải bằng biện pháp sinh học*. Nxb Giáo dục.
- [6]. Minh Tuan Nguyen, Thao Phuong Nguyen, Tung Huu Pham, Thuy Thi Duong, Manh Van Do, Tuyen Van Trinh, Quynh Thi Xuan Nguyen and Viet Minh Trinh (2022). Removal of nutrients and COD in wastewater from Vietnamese Piggery farm by the culture of *Chlorella vulgaris* in a Pilot-Scaled membrane photobioreactor. *Water*, 14(22), 3645. <https://doi.org/10.3390/w14223645>.
- [7]. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 6663-3:2016. *Chất lượng nước - Lấy mẫu - Phần 3: Bảo quản và xử lý mẫu nước*.
- [8]. Balouiri, M., Sadiki, M. & Ibensouda, S. K. (2016). Methods for *in vitro* evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of pharmaceutical analysis*, 6(2), 71 - 79.
- [9]. Breed S Robert, Murray E. G. D. & Smith, R Nathan (1957). *Bergey's manual of determinative bacteriology*, the Williams and Wilkins Co. Baltimore, *American Society of Microbiology*. 7th Edition.
- [10]. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5999-1995. *Chất lượng nước - Lấy mẫu - Hướng dẫn lấy mẫu nước thải*.
- [11]. Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia QCVN 14:2008/BTNMT về nước thải sinh hoạt.

- [12]. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6772:2000. *Chất lượng nước - Nước thải sinh hoạt - Giới hạn ô nhiễm cho phép.*
- [13]. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 6492:2011. *Chất lượng nước - Xác định pH.*
- [14]. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6491:1999. *Chất lượng nước - Xác định nhu cầu oxy hoá học.*
- [15]. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 6001-1:2021. *Chất lượng nước - Xác định nhu cầu oxy sinh hoá sau n ngày (BOD_n) - Phần 1: Phương pháp pha loãng và cấy có bổ sung allylthiourea.*
- [16]. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6625:2000. *Chất lượng nước - xác định chất rắn lơ lửng bằng cách lọc qua cái lọc sợi thủy tinh.*
- [17]. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5987:1995. *Chất lượng nước - Xác định nitơ Kenden (Kjeldahl) - Phương pháp sau khi vô cơ hóa với selen.*
- [18]. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 6202:2008. *Chất lượng nước - Xác định phospho - Phương pháp đo phổ dùng amoni molipdat.*
- [19]. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 6187-2:2020. *Chất lượng nước - Phương pháp định lượng vi khuẩn Escherichia coli và coliform - Phần 2: Kỹ thuật đếm số có xác suất lớn nhất.*
- [20]. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5988:1995. *Chất lượng nước - Xác định amoni - Phương pháp chưng cất và chuẩn độ.*
- [21]. Trương Vũ Luân, Nguyễn Thị Khánh Lam, Nguyễn Đắc Khoa và Nguyễn Thị Phi Oanh (2023). Phân lập và tuyển chọn vi khuẩn trong nước thải chế biến thủy sản có khả năng hấp thu ammonium. *Tạp chí Khoa học, Đại học Cần Thơ*, 60(1B), 86 - 96.
- [22]. Đặng Quang Hải và Trần Thị Thanh Thủy (2022). Phân lập, tuyển chọn và định danh một số chủng vi sinh vật có lợi và bước đầu ứng dụng trong xử lý chất thải rắn hữu cơ làm phân bón hữu cơ sinh học. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Đà Nẵng*, 20(5): 56 - 61.
- [23]. Đinh Hồng Duyên, Nguyễn Thế Bình, Vũ Thanh Hải (2017). Tuyển chọn vi khuẩn có khả năng phân huỷ phế phụ phẩm sau thu hoạch quả vải. *Tạp chí Khoa học, Trường Đại học Cần Thơ*, 53, 61 - 70.

RESEARCH ON DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT USING A MIXED SYSTEM OF BACTERIA AND MICROALGAE

Nguyen Thi Minh¹, Do Thi Thuy¹, Le Minh Nguyet²

¹*Faculty of Resources and Environment, Vietnam National University of Agriculture*

²*Faculty of Food Technology, Vietnam National University of Agriculture*

Abstract

This study aimed to select beneficial bacterial strains to combine with microalgae for treating domestic wastewater. Through biological activity surveys by using direct culture methods under different conditions, four bacterial strains were selected: *Bacillus sp.* A1, *Pseudomonas sp.* A2, *Bacillus sp.* A3, and *Bacillus sp.* C2, with good biological characteristics for combination with microalgae mixture for wastewater treatment. The selected strains have ability to produce all three enzymes: Amylase, protease, and CMC_α; high resistance to 1000 mg Streptomycin/L; wide pH and temperature tolerance (pH 4 - 8 and temperature 30 - 50°C) and strong growth potential on various carbon and nitrogen nutrient sources. Experiments on treating domestic wastewater using a mixed system of selected bacteria combined with microalgae showed high treatment efficiency. The COD content in the wastewater was reduced to only 15.48 mg/l, achieving a treatment efficiency of 96.67% and the BOD₅ efficiency reached 94.32%. Other parameters, including TSS, total phosphate and ammonia, also decreased significantly after 14 days, with efficiency exceeding 90%. Notably, the efficiency in treating harmful microorganisms reached 99% and the analysis of the density of *Coliform* bacteria in the wastewater after 14 days of treatment was within the permissible limits of QCVN 14:2008 (column A). The test results demonstrate the potential application of a mixed system of beneficial bacteria and microalgae in wastewater treatment.

Keywords: *Algae, bacteria - algae combination, domestic wastewater, useful bacteria, waste treatment.*

Ngày nhận bài: 5/5/2026

Ngày chuyển phản biện: 11/5/2026

Ngày thông qua phản biện: 18/6/2026

Ngày duyệt đăng: 29/6/2026