

SỞ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO HẢI PHÒNG

**CUỘC THI KHOA HỌC KỸ THUẬT CẤP THÀNH PHỐ
DÀNH CHO HỌC SINH TRUNG HỌC NĂM HỌC 2025 - 2026**



TÊN DỰ ÁN:

Ứng dụng vi khuẩn quang hợp PSB (Photosynthetic Bacteria) kết hợp Bacillus trong xử lý nước thải chăn nuôi để tạo phân bón lỏng hữu cơ sử dụng trong trồng trọt.

**LĨNH VỰC DỰ THI: VI SINH
LOẠI DỰ ÁN: DỰ ÁN KỸ THUẬT**

Hải Phòng, tháng 10 năm 2025

MỤC LỤC

I. VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU	3
1. Tính cấp thiết của đề tài.....	3
2. Các tiêu chí cho giải pháp	4
II. THIẾT KẾ VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU.....	5
1.Thiết kế.....	5
2. Phương pháp nghiên cứu.....	6
III. THỰC HIỆN: CHẾ TẠO VÀ KIỂM TRA	6
1. Thu thập thông tin dữ liệu	6
2. Phương pháp nghiên cứu lý thuyết – cơ sở khoa học	7
3. Thiết kế, tạo sản phẩm, kiểm tra.....	9
IV. TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	19

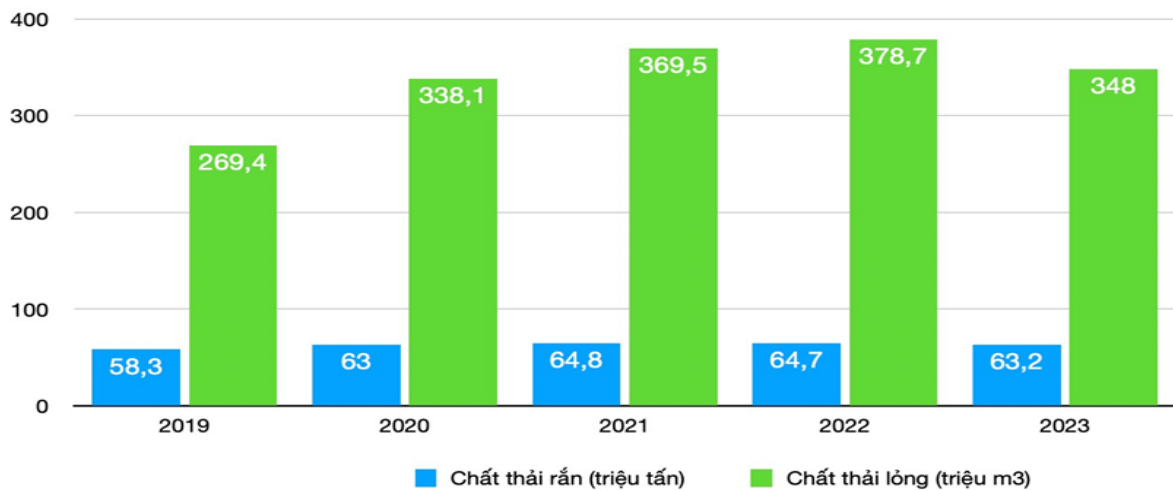
I. VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Trong bối cảnh phát triển chăn nuôi hiện nay, lượng nước thải phát sinh từ các trang trại ngày càng gia tăng, chứa hàm lượng lớn chất hữu cơ, amoni (NH₃), nitrat, photphat và vi sinh vật gây bệnh. Nếu không được xử lý triệt để, nguồn nước thải này sẽ dẫn đến ô nhiễm nghiêm trọng nguồn nước, phát sinh mùi hôi và ảnh hưởng đến sức khỏe của vật nuôi thậm chí ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe cộng đồng. Trong khi đó, nước thải chăn nuôi lại giàu chất dinh dưỡng như nitơ, photpho, kali - những thành phần cần thiết cho sự phát triển của cây trồng. Việc tận dụng nguồn nước thải, xử lý làm phân bón hữu cơ không chỉ giúp giảm ô nhiễm mà còn góp phần phát triển nông nghiệp tuần hoàn và bền vững. Tuy nhiên, cần có một quy trình xử lý vừa đảm bảo loại bỏ tạp chất độc hại, vừa chuyển hóa các hợp chất hữu cơ phức tạp thành dạng phân bón lỏng giúp cây dễ hấp thu trong quá trình trồng trọt.

Mặt khác ô nhiễm môi trường trong chăn nuôi là thực trạng vẫn thường xuyên xảy ra tại các cơ sở chăn nuôi, đặc biệt là các cơ sở chăn nuôi của các hộ gia đình, nhỏ lẻ. Theo thống kê, hoạt động chăn nuôi phát sinh hàng trăm triệu tấn chất thải rắn và hàng chục triệu mét khối chất thải lỏng.

Biểu đồ sau đây là thực trạng về lượng chất thải rắn, lỏng phát sinh từ hoạt động chăn nuôi ở nước ta giai đoạn 2019-2023.



(Nguồn: Cục Chăn nuôi, tháng 5/2024)

Với lượng chất thải phát sinh lớn như trên, một phần trong số đó được xử lý qua các hệ thống xử lý chất thải chăn nuôi như Biogas, đệm lót sinh học, ép tách phân,... tuy nhiên thực trạng còn rất nhiều cơ sở chăn nuôi không xử lý tốt chất thải chăn nuôi gây hiện tượng ô nhiễm môi trường: đất, nước, không khí. Việc chất thải chăn nuôi không được xử lý ngoài vấn đề ô nhiễm môi trường còn tiềm ẩn nguy cơ lây lan và bùng phát dịch bệnh do trong chất thải có chứa các vi sinh vật, ký sinh trùng gây bệnh, các kim loại nặng làm ảnh hưởng đến sức khỏe của vật nuôi, sức khỏe của người chăn nuôi và người dân sinh sống xung quanh các khu vực chăn nuôi. Do đó, vấn đề xử lý chất thải trong chăn nuôi là vấn đề

cấp thiết, cần được quan tâm và có phương hướng xử lý kịp thời. Đặc biệt, trong bối cảnh phát triển bền vững, việc xử lý chất thải chăn nuôi ngoài mục đích hạn chế ô nhiễm môi trường cần quan tâm đến việc tạo ra các sản phẩm có thể tái sử dụng trong nông nghiệp.

Trong các phương pháp xử lý chất thải chăn nuôi, ủ Compost được áp dụng từ lâu song hành cùng sự phát triển của ngành trồng trọt. Tuy nhiên, ủ Compost chủ yếu áp dụng với các loại phân thải rắn và chất độn chuồng. Trong khi đó, chất thải lỏng trong chăn nuôi hàng ngày thải ra tại các trang trại chăn nuôi là một con số không hề nhỏ, đặc biệt với các trang trại chăn nuôi có sử dụng nước dội chuồng và tắm cho vật nuôi hàng ngày, từ đó mà lượng nước thải chăn nuôi, không xử lý được thải trực tiếp ngày càng được gia tăng.

Xuất phát từ mong muốn hướng đến nền nông nghiệp bền vững phát triển tuần hoàn, đồng thời kết hợp với những kiến thức lý thuyết đã được học trên trường lớp em mong muốn, tận dụng hệ vi sinh vật tự nhiên có khả năng phân hủy chất hữu cơ, giải quyết vấn đề chất thải chăn nuôi đồng thời tạo ra một loại phân bón hữu cơ lỏng có khả năng cung cấp dinh dưỡng cho sự phát triển của cây trồng. Vì vậy em đã nảy ra ý tưởng kết hợp vi khuẩn quang hợp (Photosynthetic Bacteria - PSB) và Bacillus trong quá trình xử lý chất thải, để giúp phân đầu định hình được chất lượng nước thải cũng như loại bỏ chất độc, mùi, vi khuẩn gây hại. Bởi lẽ cả hai chủng vi sinh này đều có khả năng chuyển hóa chất hữu cơ, giảm độc tố, cố định đạm, hòa tan lân và sinh tổng hợp các chất kích thích sinh trưởng tự nhiên, giúp nước thải sau xử lý có thể được tái sử dụng làm phân bón hữu cơ vi sinh dạng lỏng.

2. Các tiêu chí cho giải pháp

Để giải quyết hiệu quả vấn đề ô nhiễm từ nước thải chăn nuôi và đồng thời tạo ra nguồn phân bón hữu cơ sinh học có giá trị, đề tài xác định hệ thống tiêu chí rõ ràng cho giải pháp nghiên cứu. Trước hết, tiêu chí hiệu quả xử lý trong môi trường chất thải. Đánh giá hiệu quả xử lý nước thải chăn nuôi của từng nhóm vi khuẩn riêng lẻ và tổ hợp PSB - Bacillus. Các chỉ tiêu chất lượng nước được phân tích định lượng, bao gồm pH, COD, NH₃, mức mùi. Các mẫu thí nghiệm được kiểm tra định kỳ trong quá trình thí nghiệm (1, 7, 14, và 21 ngày) để theo dõi mức độ nồng độ các chỉ tiêu chất ô nhiễm giảm theo từng khoảng thời gian. Kết quả sẽ được so sánh giữa các mẫu thí nghiệm giúp làm rõ hiệu quả cộng hưởng của hai nhóm vi sinh vật, từ đó chứng minh tính ưu việt của tổ hợp PSB – Bacillus trong xử lý nước thải chăn nuôi.

Tiếp theo, về tiêu chí chất lượng của phân bón hữu cơ lỏng sau 21 ngày, đảm bảo hiệu quả xử lý nước thải chăn nuôi cũng như chất lượng phân bón hữu cơ thu được. Về khía cạnh môi trường trong dung dịch sau xử lý phải đạt khả năng giảm COD ít nhất 60%, giảm nồng độ NH₃ ít nhất 70%, đồng thời duy trì pH ổn định để đảm bảo an toàn sinh học và không phát sinh mùi hôi hay khí độc. Về chất lượng sản phẩm, phân bón lỏng hữu cơ cần đạt hàm lượng N \geq 0,2%, P₂O₅ \geq 0,15%, K₂O \geq 0,2% và có mật độ vi sinh vật có lợi \geq 10⁷ CFU/mL. Ngoài ra, phân bón hữu cơ lỏng có mùi nhẹ, quy trình ủ không quá 28 ngày và dễ áp

dụng ở quy mô nông hộ. Các tiêu chí này khẳng định tính bền vững, khả năng nhân rộng và ý nghĩa khoa học của đề tài trong phát triển nông nghiệp tuần hoàn.

Cuối cùng, tiêu chí về khả năng ứng dụng, tính bền vững. Đề xuất mô hình ứng dụng thực tiễn quy mô nhỏ có tính khả thi và thân thiện môi trường. Mô hình được xây dựng dựa trên kết quả xử lý, kết hợp với các yếu tố kinh tế và kỹ thuật, nhằm tạo ra quy trình “*xử lý – tái sử dụng – tái tạo*” có thể áp dụng tại các hộ chăn nuôi hoặc trang trại nhỏ. Quy trình sản xuất cần đơn giản, thời gian ủ không quá 28 ngày, tận dụng nguồn nguyên liệu sẵn có và không gây ô nhiễm thứ cấp. Hiệu quả được đánh giá dựa trên các tiêu chí: chi phí, thời gian, hiệu suất xử lý và mức độ giảm ô nhiễm. Đề tài này mong muốn đóng góp một hướng đi mới cho công nghệ xử lý nước thải chăn nuôi sinh học, đồng thời tạo cơ sở để mở rộng nghiên cứu ứng dụng vi sinh vật trong kinh tế tuần hoàn nông nghiệp.

II. THIẾT KẾ VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Thiết kế

Nghiên cứu được thiết kế theo hướng ứng dụng thực nghiệm, kết hợp giữa khảo sát thực tế, hoạt hóa vi sinh vật và phân tích các chỉ tiêu hóa – sinh – môi trường trong phòng thí nghiệm. Toàn bộ quy trình được triển khai qua bốn giai đoạn chính:

- (1) Khảo sát và thu mẫu nước thải chăn nuôi;
- (2) Kích hoạt và phối trộn vi khuẩn quang hợp (PSB) và Bacillus vào các mẫu nước thải;
- (3) Tiến hành thí nghiệm xử lý và phân tích mẫu định kỳ;
- (4) Đánh giá chất lượng phân bón hữu cơ lỏng thu được và thử nghiệm trên cây trồng.

Bố trí thí nghiệm được thực hiện theo mô hình hoàn toàn ngẫu nhiên có đối chứng, các nghiệm thức được lặp lại để đảm bảo tính khách quan và độ tin cậy thống kê của kết quả.

Ở giai đoạn đầu, khảo sát và thu mẫu nước thải chăn nuôi được tiến hành tại một số hộ chăn nuôi lợn quy mô nhỏ. Mẫu nước thải được khuấy đều, loại bỏ cặn lớn và bảo quản trong thùng kín. Các chỉ tiêu môi trường ban đầu gồm pH, COD, và NH₃ được đo và ghi nhận nhằm thiết lập giá trị nền cho quá trình so sánh sau xử lý.

Trong giai đoạn xử lý nước thải, bốn nghiệm thức được thiết lập như sau:

- NT: Nước thải không xử lý (đối chứng)
- P: Nước thải xử lý bằng vi khuẩn quang hợp PSB;
- B: Nước thải xử lý bằng vi khuẩn Bacillus;
- PB: Nước thải xử lý bằng tổ hợp PSB và Bacillus theo tỷ lệ 1:1.

Mỗi mẫu thí nghiệm được bố trí trong thùng nhựa 2 lít, đặt ở nơi có ánh sáng tự nhiên ổn định, tránh tiếp xúc trực tiếp với ánh nắng gay gắt. Trong quá

trình ủ, mẫu được khuấy nhẹ hoặc sục khí định kỳ để duy trì nồng độ oxy hòa tan, đảm bảo điều kiện hiếu khí cho sự phát triển của vi sinh vật. Thời gian thí nghiệm kéo dài 21 ngày, mẫu nước được lấy định kỳ vào các ngày 1, 7, 14 và 21 để phân tích các chỉ tiêu môi trường gồm pH, COD và NH₃. Các yếu tố môi trường bên ngoài như nhiệt độ và cường độ ánh sáng được theo dõi hàng ngày để đảm bảo tính ổn định của hệ thống. Hiệu quả xử lý được xác định bằng cách so sánh các mẫu thí nghiệm với mẫu đối chứng (NT).

Sau giai đoạn xử lý, phân bón hữu cơ vi sinh lỏng (PB) thu được được phân tích các chỉ tiêu hóa học gồm: hàm lượng nitơ tổng hợp (N), photpho tổng hợp (P), kali tổng hợp (K), cacbon hữu cơ tổng số và pH. Song song, mẫu PB được thử nghiệm trên cây cải xanh (*Brassica juncea*) trong điều kiện tự nhiên, theo bố trí ngẫu nhiên hoàn toàn với ba nghiệm thức: TN (không bón phân), NPK (bón phân hóa học), và PB (bón phân hữu cơ vi sinh lỏng). Các chỉ tiêu sinh trưởng như chiều cao cây, số lá và sinh khối tươi được theo dõi định kỳ trong 28 ngày.

Toàn bộ số liệu được tổng hợp, phân tích và biểu diễn dưới dạng bảng và đồ thị. Các biến số chính trong nghiên cứu gồm: loại vi sinh vật (PSB, Bacillus, tổ hợp PSB - Bacillus), thời gian xử lý (ngày), chỉ tiêu môi trường (COD, NH₃, pH) và năng suất cây trồng. Dữ liệu được xử lý bằng phân tích thống kê mô tả và tương quan nhằm xác định mối quan hệ giữa các yếu tố thí nghiệm, từ đó đánh giá hiệu quả xử lý và xác định điều kiện tối ưu của mô hình xử lý - tái sử dụng nước thải chăn nuôi theo hướng tuần hoàn sinh học bền vững.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp thu thập thông tin dữ liệu

- Tiến hành khảo sát thực tế biện pháp xử lý chất thải chăn nuôi, phân tích phương pháp sử dụng phân bón ở địa phương, tìm hiểu về cách xử lý chất thải chăn nuôi.
- Khảo sát mô hình chăn nuôi thường thấy ở những hộ gia đình địa phương.
- Khảo sát giá một số loại phân bón hóa học trên thị trường.

2.2. Phương pháp nghiên cứu lý thuyết

- Tìm hiểu về vi khuẩn quang hợp Photosynthetic Bacteria (PSB) và Bacillus.
- Tìm hiểu cách xử lý chất thải chăn nuôi.
- Tìm hiểu về quy trình ủ phân bón lỏng.
- Tìm hiểu về cơ chế hoạt động của vi sinh vật quang hợp PSB và Bacillus với cây trồng.

III. THỰC HIỆN - CHẾ TẠO VÀ KIỂM TRA

1. Thu nhập thông tin dữ liệu

Khảo sát một số hộ gia đình hoạt động nông nghiệp trên địa bàn một số xã của huyện em nhận thấy đa số các hộ gia đình chăn nuôi gà theo phương thức bán công nghiệp hoặc mô hình chăn nuôi Vườn - Ao - Chuồng. Nhưng trong quá trình chăn nuôi hầu hết các hộ gia đình chưa có phương pháp xử lý chất thải,

hay xử lý chất thải không hiệu quả. Tổng lượng chất thải rắn phát sinh từ hoạt động chăn nuôi tại Việt Nam năm 2023 ước đạt khoảng 63, 2 triệu tấn, trong khi lượng chất thải lỏng vượt quá 348 triệu lít. Mặc dù tỷ lệ chất thải được xử lý đạt mức khá cao - khoảng 72% ở quy mô hộ gia đình và 95% tại các trang trại - song vẫn còn trên 50% lượng chất thải rắn chưa được xử lý triệt để, gây nguy cơ ô nhiễm môi trường. Hơn thế nữa, theo cơ cấu phát sinh phân lợn 34% trong tổng lượng chất thải. Các phương pháp xử lý chủ yếu hiện nay gồm ủ compost, hầm biogas, đệm lót sinh học và xử lý sinh học nước thải. Tuy nhiên, những biện pháp trên còn nhiều hạn chế, khó áp dụng với quy mô nhỏ, chi phí đầu tư và vận hành hệ thống cao, khó tiếp cận.

Mặt khác, các hộ gia đình chăn nuôi theo mô hình chăn nuôi Vườn - Ao - Chuồng (VAC), chủ hộ cho biết thường dùng phân bón hóa học, hoặc tưới trực tiếp phân tươi chưa qua xử lý trực tiếp lên bề mặt đất trồng. Khi sử dụng phân bón hóa học, tùy vào loại phân bón mà có những giá thành khác nhau nhưng chúng giao động trong khoảng 14.000 - 16.000đ/kg. Tuy chi phí bỏ ra không quá cao nhưng sau một khoảng thời gian dài lạm dụng phân bón hóa học khiến đất bị chai, cứng mất vi sinh vật có ích, khiến đất giảm năng suất. Mặt khác việc tưới phân trực tiếp chưa qua xử lý dẫn đến ô nhiễm môi trường, gây mùi hôi khó chịu và tiềm ẩn nguy cơ lây lan dịch bệnh, ảnh hưởng đến sức khỏe của con người.

Giá cho men vi sinh: PSB 20.000đ - 35.000/1,5L, Trichoderma bacillus 60.000 - 70.000đ/kg.

2. Phương pháp nghiên cứu lý thuyết - cơ sở khoa học

2.1. PSB (*Photosynthetic Bacteria*)

2.1.1. Giới thiệu về vi sinh vật quang hợp PSB (*Photosynthetic Bacteria*)

Vi sinh vật quang hợp PSB với tên đầy đủ là Photosynthetic Bacteria là một loại vi sinh vật có khả năng quang hợp, nhưng khác với quá trình quang hợp của các loài thực vật, chúng khác với thực vật ở chỗ, các loại thực vật thường dùng nước để dung cấp Hydro (H_2) thì vi sinh vật này sử dụng Hydro sulfide (H_2S) để quang hợp. Chúng hấp thụ carbon dioxide (CO_2) và qua quá trình quang hợp chúng tạo ra các loại chất hữu cơ cần thiết cho sự phát triển của chúng, mà không giải phóng Oxy (O_2) .

Nhờ khả năng quang hợp của chúng. Khi có ánh sáng chúng sẽ phát triển nhanh theo cấp số nhân, đồng thời tiêu thụ các chất hữu cơ, các chất ô nhiễm có trong nước, làm giảm tính độc của chúng. Nhờ có cơ chế hoạt động này mà chúng giúp giảm mùi hôi và cải thiện chất lượng nước, làm cho môi trường nước sạch hơn.



Hình ảnh vi sinh vật PSB

2.1.2. Cơ chế hoạt động của PSB trong môi trường nước hỗn hợp chất thải của vật nuôi

- Hấp thụ và phân giải chất hữu cơ (giảm BOD, COD)

Trong điều kiện ánh sáng phù hợp và oxy hòa tan thấp, PSB dùng đường hay axit béo ngắn (ví dụ axetat, chất thải gia súc) làm nguồn carbon và electron; năng lượng lấy từ quang hệ (bacteriochlorophyll) được dùng để tổng hợp ATP và NAD(P)H, dẫn tới quá trình hô hấp phototrophic hoặc photometabolism - kết quả là phân giải các hợp chất hữu cơ hòa tan và giúp giảm nhanh các thông số BOD/COD của nước thải. Quá trình này khác với phân giải hiếu khí bởi PSB có thể hoạt động hiệu quả ngay trong môi trường ít oxy, giúp xử lý nước trong lớp nước đục nơi oxy thấp.

- Oxy hóa và chuyển hóa hợp chất Nito (NH_4^+ , NH_3 , NO_2^-)

PSB có thể giảm nồng độ ammonium ($\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$) - có trong nước thải của chất thải vật nuôi, bằng hai cơ chế chính: đồng hóa N vào sinh khối (tế bào tổng hợp protein, axit nucleic) - nhất là khi tỷ lệ C:N cao và có carbon hữu cơ dễ sử dụng; trong điều kiện thích hợp (kỵ khí nhẹ, có các vi sinh cộng sinh) chúng thúc đẩy các quá trình khử nitrate/denitrification gián tiếp, góp phần chuyển NO_x thành N_2 thoát khí - từ đó làm giảm độc tính và mùi khai trong nước thải chăn nuôi. Các enzyme như nitrogenase/nitrate reductase liên quan đến quá trình này đã được báo cáo ở nhiều chủng PSB.

- Oxy hóa hợp chất lưu huỳnh (H_2S , SO_3^{2-})

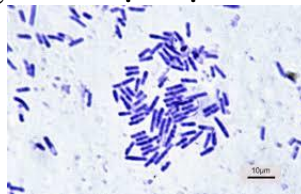
Vi sinh vật PSB có khả năng oxy hóa H_2S hoặc chuyển hóa các hợp chất lưu huỳnh thành dạng sulfate ít độc hơn hoặc lưu trữ lưu huỳnh ở dạng nguyên tố, do đó giảm mùi “trúng thối” đặc trưng trong nước ô nhiễm hữu cơ. Khi H_2S được oxy hóa/tiêu hao, môi trường nước trở nên ít độc.

Vi sinh vật PSB có khả năng loại bỏ hoặc giảm thiểu chất độc có trong môi trường nước, giúp làm sạch chất gây độc trong hỗn hợp chất thải, tạo điều kiện thuận lợi để hình thành phân bón hữu cơ dạng lỏng, đáp ứng nhiều vấn đề của nền công nghiệp bền vững.

2.2. Bacillus

2.2.1 Giới thiệu về vi sinh vật quang hợp PSB (Photosynthetic Bacteria)

Bacillus là một chi vi khuẩn gram dương có kích thước lớn, hiếu khí, hình que/ trụ, được tìm thấy rộng rãi trong đất, nước và không khí. Chúng là catalase dương tính; nhiều loại có khả năng lên men và hầu hết đều có tính di động. Chi này bao gồm nhiều loài - một số có lợi cho hệ sinh thái trên cạn và dưới nước, trong khi những loài khác có hại đối với các sinh vật khác. Các thành viên của chi bacillus có khả năng thích nghi cao, nhờ khả năng hình thành nội bào tử - cấu trúc bảo vệ chúng khỏi một loạt các môi trường tiêu cực.



Hình ảnh vi sinh vật Bacillus dưới kính hiển vi

Trong nông nghiệp phổ biến một số loại Bacillus: Bacillus subtilis, Bacillus licheniformis, Bacillus megaterium, Bacillus pumilus. Các loại chủng này đều có khả năng phân giải các hợp chất hữu cơ phức tạp với tốc độ khá nhanh, có thể chuyển hóa thành các dạng dễ hấp thụ cho cây trồng, cung cấp dinh dưỡng cho đất, tránh tình trạng thoái hóa đất.

2.2.2. Cơ chế hoạt động của Bacillus trong môi trường nước hỗn hợp chất thải của vật nuôi

- Chuyển hóa N_2 và khử độc amoniac (NH_3)

Trong nước thải chăn nuôi, thường có một lượng protein và ure lớn, trong quá trình phân hủy của chúng sẽ tạo ra khí NH_3 (amoniac) - khí có mùi hắc gây hại cho cả vật nuôi và vật nuôi. Bacillus khi tham gia phản ứng sẽ chuyển hóa NH_3 thành NH_4^+ ít độc hơn. Bên cạnh đó chúng còn kích hoạt các vi sinh vật có lợi giúp hoàn thiện chu trình nitrat hóa (Nitrosomonas, Nitrobacter,...). Trong quá trình này giúp giảm đáng kể hàm lượng NH_3 - nguyên nhân gây mùi hôi và tăng nguồn nito có lợi.

2.3. Tác dụng cộng hưởng PSB - Bacillus

Sự kết hợp giữa vi khuẩn quang hợp (PSB) và Bacillus tạo nên hiệu ứng cộng hưởng sinh học rõ rệt trong quá trình xử lý nước thải chăn nuôi. Bacillus tiết enzyme phân giải nhanh các chất hữu cơ phức tạp, cung cấp cơ chất dễ hấp thụ cho PSB, trong khi PSB sử dụng ánh sáng để oxy hóa, giảm độc tính và ổn định môi trường. Sự tác động và hỗ trợ này giúp giảm nhanh COD, NH_3 và mùi hôi, đồng thời duy trì pH ổn định.

Trong quá trình hình thành phân bón lỏng hữu cơ, các vi khuẩn quang hợp PSB hoạt động mạnh khi có ánh sáng, mặt khác Bacillus có thể hoạt động ở điều kiện ánh sáng kém. Bên cạnh đó Bacillus phân giải chất hữu cơ tạo ra carbon, mà PSB lại cần nguồn carbon để quang dưỡng, PSB hấp thụ NH_3 , H_2S , giúp giảm tính độc, ổn định pH, điều mà Bacillus chưa thực hiện tốt. Bacillus, PSB hỗ trợ, bù trừ cho nhau

3. Thiết kế, tạo sản phẩm và kiểm tra

3.1. Vật liệu:

- Chế phẩm vi sinh: Trichoderma bacillus - Chế phẩm vi sinh cải tạo đất; vi sinh PSB vi sinh vật làm nước trong, xử lý nước.
- Nước thải: Thu thập phân của vật nuôi - lợn trên địa bàn.
- Thiết bị: Kính hiển vi, Thùng nhựa, bộ test NH_3 , NO_2^- , COD, cân tiểu ly, khăn lọc, cốc đong, ống nghiệm, pipet, bình phun nước, thước đo, máy đo pH, máy đo NPK cầm tay, chậu cây.
- Cây trồng: Hạt giống cây rau cải ngọt.

3.2. Bố trí thí nghiệm

Bước 1. Thu mẫu và chuẩn bị nước thải:

Nguồn nước thải được thu từ khu vực chăn nuôi lợn của hộ gia đình, có đặc trưng ô nhiễm hữu cơ cao. Trước khi tiến hành thí nghiệm, mẫu nước được xử lý sơ bộ bằng dung dịch vôi nhằm loại bỏ một phần vi sinh vật gây hại và lắng cặn

cơ học. Sau đó, nước thải được lọc qua lớp vải mịn và chia thành bốn mẫu thí nghiệm để so sánh hiệu quả của các tác nhân sinh học: (1) mẫu đối chứng không xử lý (NT), (2) mẫu bổ sung chủng Bacillus (B), (3) mẫu bổ sung vi khuẩn quang hợp PSB (Photosynthetic Bacteria) (P), và (4) mẫu xử lý kết hợp Bacillus và PSB với tỉ lệ 1:1 (PB).

Bước 2. Tiến hành xử lý sinh học:

Các chủng vi sinh vật Bacillus và PSB được cấy vào thùng chứa 2 lít nước thải tương ứng với từng nghiệm thức. Quá trình ủ sinh học được duy trì trong 21 ngày ở điều kiện tự nhiên, có ánh sáng khuếch tán, nhiệt độ dao động từ 28-32°C. Mẫu được đặt nơi thông thoáng, có mái che để tránh ánh nắng trực tiếp. Trong suốt thời gian ủ, tiến hành khuấy nhẹ định kỳ nhằm duy trì hàm lượng oxy hòa tan và tạo điều kiện cho vi sinh vật phát triển. Giai đoạn này nhằm đánh giá khả năng phân hủy chất hữu cơ, giảm hàm lượng COD, NH₃, TSS và hiệu quả tương tác cộng sinh giữa hai nhóm vi sinh vật.

Bước 3. Sản xuất và đánh giá phân bón hữu cơ vi sinh lỏng:

Sau 21 ngày, hỗn hợp được lọc loại bỏ bã thô để thu dung dịch trong - phân bón hữu cơ vi sinh lỏng (PB). Mẫu phân bón được kiểm tra các chỉ tiêu hóa - sinh: pH, COD, tổng hợp Nitơ (N), tổng hợp Photpho (P), Kali tổng hợp (K), chất hữu cơ tổng số (OM), mật độ Bacillus và PSB khả thi (CFU/mL).

Để đánh giá hiệu quả sinh học, tiến hành thử nghiệm trên cây cải xanh với ba nhóm:

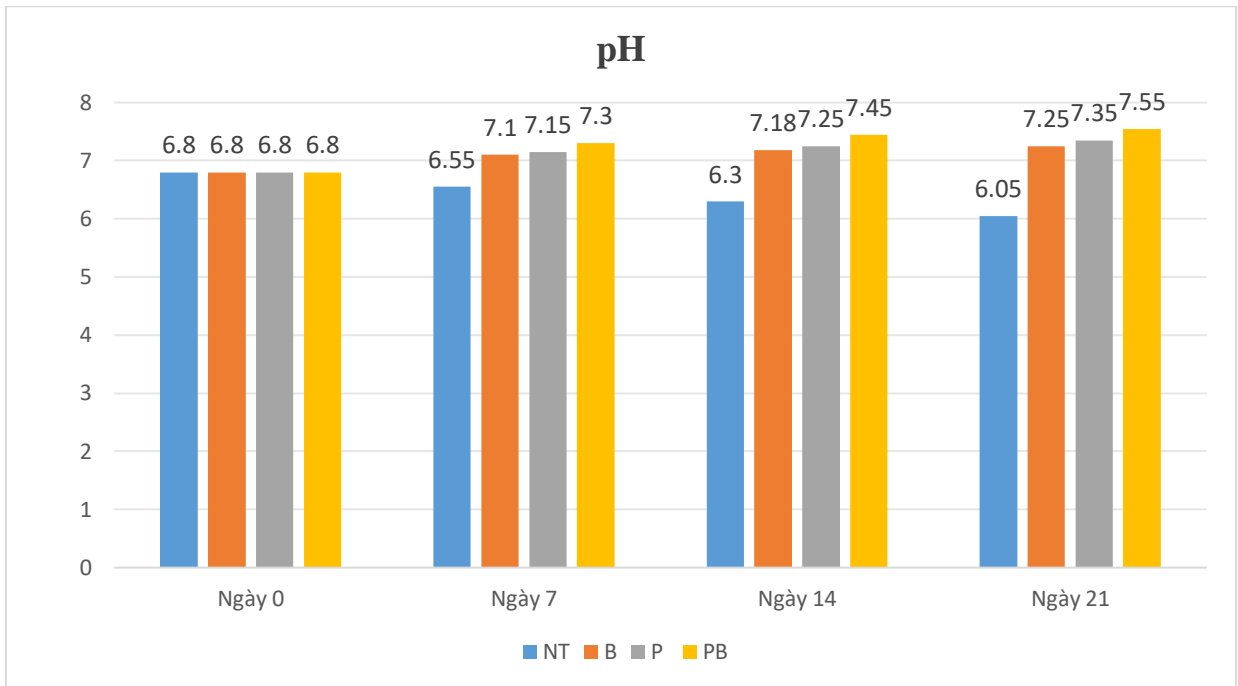
- Nhóm TN: cây trồng không bón phân (đối chứng tự nhiên).
 - Nhóm NPK: cây trồng bón phân hóa học thông thường.
 - Nhóm PB: cây trồng bón phân hữu cơ vi sinh lỏng thu được từ quá trình xử lý.
- Phân bón được sử dụng theo cùng liều lượng và tần suất trong 28 ngày, nhằm đánh giá sự khác biệt về chiều cao cây, số lá, sinh khối tươi, màu sắc lá.

Bước 4. Phân tích và tổng hợp kết quả:

Các mẫu nước thải trước và sau xử lý, cùng với kết quả sinh trưởng cây trồng, được tổng hợp và so sánh thông qua bảng số liệu, biểu đồ và phân tích thống kê. Từ đó, đánh giá hiệu quả xử lý ô nhiễm của PSB và Bacillus, khả năng chuyển hóa chất thải thành nguồn phân bón hữu cơ, và tác động tích cực của sản phẩm PB đến môi trường đất và sinh trưởng cây trồng. Cuối cùng, kết quả được sử dụng để xác định tính khả thi, hiệu quả ứng dụng và tiềm năng nhân rộng mô hình trong xử lý nước thải chăn nuôi theo hướng nông nghiệp sinh học - tuần hoàn bền vững.

3.3. Kết quả thí nghiệm

- *Ảnh hưởng của pH.*

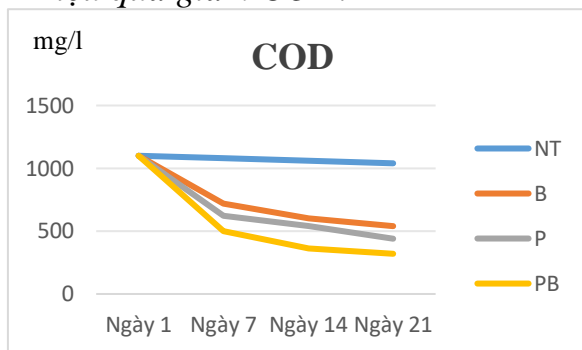


Hình 1. Biến động pH trong 21 ngày ủ phân

Kết quả theo dõi sự biến động của pH trong suốt 21 ngày ủ phân cho thấy giá trị pH có xu hướng tăng dần theo thời gian ở cả bốn mẫu thí nghiệm. Ở thời điểm ban đầu (ngày 1), pH của các mẫu dao động quanh mức trung tính ($\approx 6,8$), phản ánh đặc trưng của môi trường nước thải chăn nuôi chưa qua xử lý. Đến ngày thứ 7, pH có sự thay đổi rõ rệt giữa các mẫu thí nghiệm: mẫu đối chứng giảm nhẹ. Điều này cho thấy quá trình hoạt động của vi khuẩn quang hợp và *Bacillus* đã góp phần điều chỉnh cân bằng độ pH trong môi trường nước thải, hạn chế sự tích tụ của các axit hữu cơ trong giai đoạn đầu của quá trình ủ. Sang giai đoạn giữa và cuối quá trình (ngày 14 và ngày 21), pH tiếp tục tăng ổn định, quá trình gia tăng này có thể được giải thích bởi hoạt động phân giải các hợp chất hữu cơ và nitơ của *Bacillus* làm giảm hàm lượng axit bay hơi, đồng thời sản sinh amoniac – một hợp chất có tính kiềm nhẹ, góp phần nâng pH của môi trường. Mặt khác, quá trình quang hợp của PSB giúp tiêu thụ CO_2 trong môi trường, từ đó giảm sự hình thành axit carbonic, góp phần ổn định pH theo hướng kiềm nhẹ.

Nhìn chung, kết quả cho thấy tổ hợp PSB – *Bacillus* có khả năng điều hòa và duy trì pH ổn định, mức thích hợp cho hoạt động của phần lớn vi sinh vật có lợi trong quá trình phân hủy chất hữu cơ. Điều này chứng tỏ việc phối hợp hai nhóm vi sinh vật không chỉ nâng cao hiệu quả xử lý nước thải mà còn tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình hình thành phân bón lỏng hữu cơ có tính trung tính-kiềm nhẹ, phù hợp cho sử dụng trong nông nghiệp.

- Hiệu quả giảm COD.



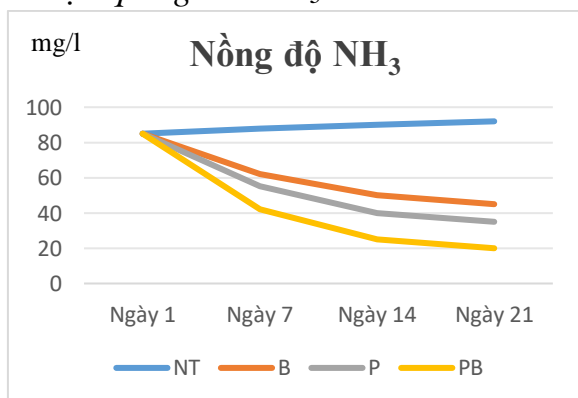
Hình 2. Biểu đồ thể hiện hiệu quả giảm COD

Kết quả biến động chỉ số COD (Chemical Oxygen Demand - nhu cầu oxy hoá học) trong 21 ngày cho thấy xu hướng giảm rõ rệt ở tất cả các mẫu thí nghiệm, phản ánh quá trình phân hủy và chuyển hóa các hợp chất hữu cơ trong nước thải chăn nuôi diễn ra mạnh mẽ dưới tác động của vi sinh vật.

Ở thời điểm ban đầu (ngày 1), giá trị COD của các nghiệm thức tương đối đồng đều, dao động quanh mức 1100-1200 mg/L, thể hiện mức độ ô nhiễm hữu cơ cao đặc trưng của nước thải chăn nuôi chưa qua xử lý. Sau 7 ngày ủ, nồng độ COD bắt đầu giảm đáng kể ở các mẫu có bổ sung vi sinh vật, trong khi mẫu đối chứng (NT) chỉ giảm nhẹ. Đến ngày 14 và 21, nồng độ COD tiếp tục giảm mạnh, đặc biệt ở nghiệm thức PB. Sau 21 ngày, giá trị COD ở PB giảm xuống còn trên 300 mg/L, tương đương hiệu suất xử lý khoảng 70%, trong khi mẫu *Bacillus* và PSB đơn lẻ chỉ đạt khoảng 51-63%, còn mẫu đối chứng hầu như không thay đổi đáng kể. Xu hướng này khẳng định hiệu quả vượt trội của tổ hợp PSB - *Bacillus* trong việc cải thiện chất lượng nước thải nhờ khả năng kết hợp giữa quá trình hiếu khí, yếm khí quang hợp và tái sử dụng sản phẩm trung gian.

Như vậy, trong quá trình xử lý nước thải ta thấy sự thay đổi rõ rệt của COD qua các giai đoạn, điều này chứng minh quá trình xử lý sinh học bằng tổ hợp vi sinh vật không chỉ rút ngắn thời gian phân hủy chất hữu cơ mà còn nâng cao mức độ làm sạch nước thải. Kết quả này đồng thời phản ánh tính ổn định và hiệu quả của mô hình trong việc tạo nguồn nước sau xử lý đạt tiêu chuẩn tái sử dụng cho sản xuất phân bón lỏng hữu cơ, góp phần thúc đẩy mô hình nông nghiệp tuần hoàn và bền vững.

- Hiệu quả giảm NH_3 .



Hình 3. Biểu đồ thể hiện nồng độ NH_3 theo thời gian

Biểu đồ cho ta thấy sự thay đổi nồng độ NH_3 trong nước thải chăn nuôi qua 21 ngày cho thấy xu hướng giảm mạnh ở các mẫu có xử lý bằng vi sinh vật, đặc biệt là ở mẫu thí nghiệm kết hợp PSB - *Bacillus* (PB). Ở ngày 1, nồng độ NH_3 ở các mẫu khá tương đồng, dao động trong khoảng 90-100 mg/L, phản ánh mức ô nhiễm nặng đặc trưng của nước thải chăn nuôi chưa xử lý.

Đến ngày 21, nồng độ NH_3 ở mẫu PB chỉ còn khoảng 15-20 mg/L, trong khi các mẫu đơn lẻ vẫn dao động quanh 30-40 mg/L, điều này chứng tỏ hiệu suất giảm NH_3 cao nhất ở PB cho thấy hiệu quả của sự kết hợp giữa hai loại vi sinh PSB và Bacillus. Bacillus có khả năng phân giải protein và các hợp chất chứa nitơ hữu cơ, tạo nguồn NH_4^+ cho quá trình đồng hóa của PSB.

Kết quả này chứng minh rằng mô hình kết hợp PSB - Bacillus không chỉ nâng cao hiệu quả khử NH_3 mà còn góp phần tạo ra dịch sau xử lý an toàn, giàu vi sinh vật hữu ích, phù hợp cho việc ứng dụng làm phân bón lỏng hữu cơ. Đây là bằng chứng quan trọng khẳng định tiềm năng của công nghệ sinh học vi sinh trong hướng phát triển nông nghiệp tuần hoàn, bền vững và thân thiện với môi trường.

- *Nhận xét tổng hợp*: Sau 21 ngày theo dõi, từ các chỉ tiêu pH, COD, NH_3 và độ trong ta thấy được sự thay đổi rõ rệt giữa các mẫu hỗn hợp. Kết quả được thống kê tóm lược như bảng sau:

Chỉ tiêu	Mẫu NT	Mẫu B	Mẫu P	Mẫu PB
pH (ngày 21)	6.05	7.25	7.35	7.55
COD (%)	Giảm 5.45%	Giảm 50.91%	Giảm 63.46%	Giảm 69.09%
NH_3 (%)	Tăng 8.24%	Giảm 47.06%	Giảm 58.82%	Giảm 76.47%
Mức mùi (1-5)	5	3	2	1 (có mùi nhẹ)

Bảng 1. Bảng nhận xét tổng hợp

Sau 21 ngày tiến hành thí nghiệm, các kết quả được ghi chép so sánh với các chỉ tiêu chất lượng nước như pH, COD, NH_3 , độ trong và mức mùi cho thấy sự cải thiện rõ rệt ở tất cả các mẫu có bổ sung vi sinh vật, đặc biệt là nghiệm thức kết hợp giữa vi khuẩn quang hợp (PSB) và Bacillus. Dữ liệu thu được chứng minh rằng việc kết hợp hai nhóm vi sinh, giúp nâng cao hiệu quả xử lý đồng thời nhiều loại chất ô nhiễm trong nước thải chăn nuôi.

Về chỉ tiêu pH, mẫu đối chứng (NT) duy trì ở mức 6,05 trong khi các nghiệm thức có vi sinh dao động từ 7,25 đến 7,55. Sự tăng pH phản ánh quá trình trung hòa acid hữu cơ và sự hình thành ion kiềm trong quá trình trao đổi chất của Bacillus và PSB, góp phần ổn định môi trường phản ứng, tạo điều kiện thuận lợi cho hoạt động của các chủng vi sinh vật hiếu – yếm khí.

Đối với COD, sự giảm mạnh được ghi nhận ở tất cả các mẫu thí nghiệm có bổ sung vi sinh. Trong đó, nghiệm thức PB đạt hiệu quả cao nhất với mức giảm (69.09%), vượt trội so với mẫu chỉ chứa PSB (63.46%) hoặc Bacillus đơn (50,91%). Điều này chứng tỏ sự phối hợp giữa PSB và Bacillus đã tối ưu hóa quá trình phân giải và oxy hóa sinh học các hợp chất hữu cơ, giúp loại bỏ phần lớn chất gây ô nhiễm trong nước thải.

Xét về nồng độ NH_3 , xu hướng giảm rõ rệt được ghi nhận ở các mẫu thí nghiệm có bổ sung vi sinh, trong đó mẫu PB giảm đến 76.47%, thể hiện khả năng chuyển hóa amoniac hiệu quả. Bacillus đóng vai trò xúc tác quá trình nitrat hóa, trong khi PSB sử dụng nguồn nitơ vô cơ làm chất dinh dưỡng cho quá trình sinh trưởng quang dưỡng, góp phần giảm độc tính và cải thiện chất lượng nước sau xử lý.

Về độ trong và mức mùi, các thông số này cũng thể hiện sự cải thiện đáng kể. Đồng thời, mức mùi giảm từ cấp 5 (mùi nặng) xuống cấp 1 (mùi nhẹ), phản ánh sự phân hủy hoàn toàn các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi – nguồn phát sinh mùi chính trong nước thải chăn nuôi.

Tổng hợp các kết quả trên cho thấy hệ vi sinh PSB – Bacillus không chỉ có khả năng xử lý nước thải đạt hiệu quả cao, mà còn giúp tạo ra dịch sau xử lý có tính ổn định sinh học, pH trung tính, mùi nhẹ và giàu dinh dưỡng hữu cơ, phù hợp cho việc tái sử dụng làm phân bón lỏng hữu cơ. Mô hình này góp phần giảm thiểu ô nhiễm môi trường nông nghiệp, đồng thời thúc đẩy ứng dụng công nghệ vi sinh trong sản xuất nông nghiệp tuần hoàn và phát triển bền vững.

Đánh giá chất lượng của phân bón hữu cơ vi sinh dạng lỏng

Sau 21 ngày xử lý phân bón hữu cơ vi sinh PB sau quá trình xử lý nước thải chăn nuôi cho thấy sản phẩm đạt chất lượng tốt, đáp ứng đồng thời các tiêu chí an toàn, ổn định và giàu dinh dưỡng. Giá trị pH của mẫu, nằm trong khoảng trung tính – kiềm nhẹ, phù hợp cho sự hấp thu dinh dưỡng của đa số cây trồng và đảm bảo tính ổn định sinh học của hệ vi sinh vật hữu ích trong phân bón.

Các giá trị này chứng tỏ quá trình chuyển hóa chất hữu cơ phức tạp trong nước thải thành các dạng dinh dưỡng dễ hấp thu đã diễn ra hiệu quả. Đặc biệt, tỷ lệ P_2O_5 dễ tiêu đạt 180 mg/L cho thấy tiềm năng ứng dụng cao trong giai đoạn phát triển sinh trưởng – ra hoa của cây trồng.

Bên cạnh đó, hàm lượng chất hữu cơ tổng số (OM) đạt 15,2%, thể hiện khả năng bổ sung nguồn mùn sinh học quan trọng, giúp cải thiện môi trường đất, tăng độ tơi xốp và vi sinh trong môi trường đất. Thành phần vi sinh vật hữu ích trong sản phẩm cũng được ghi nhận ở mức cao, với mật độ Bacillus đạt $4,4 \times 10^8$ CFU/mL và mật độ PSB đạt $1,3 \times 10^7$, đáp ứng yêu cầu tiêu chuẩn đối với phân bón vi sinh thương phẩm. Bacillus không chỉ góp phần phân giải chất hữu cơ tồn dư mà còn kích thích sinh trưởng rễ và bảo vệ cây trồng khỏi một số tác nhân gây bệnh trong đất.

Tổng hợp các kết quả trên cho thấy phân bón hữu cơ vi sinh PB đạt tiêu chuẩn về chất lượng dinh dưỡng và an toàn sinh học, có khả năng thay thế một phần phân bón vô cơ, đồng thời góp phần thúc đẩy nông nghiệp tuần hoàn và phát triển bền vững. Việc tận dụng nước thải chăn nuôi để sản xuất phân bón vi sinh không chỉ giảm thiểu ô nhiễm môi trường mà còn tạo ra nguồn phân bón giá trị sinh học cao, phục vụ sản xuất nông nghiệp theo hướng thân thiện với môi trường. Điều này được thể hiện qua bảng số liệu sau:

STT	Tên tiêu chí	Đơn vị	Kết quả
1	pH		7.55
2	Nito tổng số (N)	%N	2.71
3	Photpho tổng số (P)	%P	1.73
4	Kali tổng số (K)	%K	2.22
5	Chất hữu cơ tổng số (OM)	%	15.2
6	P ₂ O ₅ dễ tiêu	% P ₂ O ₅	1.8
7	Bacillus	CFU/ml	4.4x10 ⁸
8	PSB	CFB/ml	1.3x10 ⁷

Bảng 2. Chất lượng phân bón hữu cơ vi sinh dạng lỏng



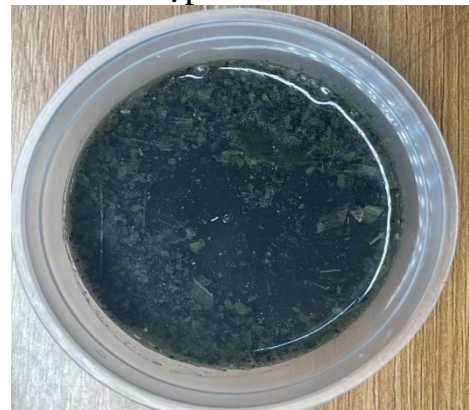
a) Mẫu Bacillus (B)



b) Mẫu kết hợp Bacillus và PSB



c) Mẫu nguyên trạng (NT)



d) Mẫu PSB

Hình ảnh sau 21 ngày xử lý nước thải của các mẫu thí nghiệm

Kết quả thử nghiệm phân bón hữu cơ vi sinh dạng lỏng trên mô hình trồng rau cải

Kết quả thử nghiệm cho thấy, phân bón hữu cơ vi sinh dạng lỏng có thể cung cấp đủ chất dinh dưỡng giúp cây có đủ khả năng sinh trưởng, được thể hiện qua chỉ tiêu về chiều cao của cây, số lá/cây ở lô thí nghiệm đều cao hơn cây đối chứng hoặc sấp xỉ cây được bón bằng phân hóa học. Các nghiên cứu ứng dụng phân hữu cơ vi sinh dạng lỏng từ chất thải chăn nuôi lợn chứa vi sinh vật hữu ích là vi khuẩn Bacillus và PSB. Một số nghiên cứu trên thế giới cho thấy, phân bón hữu cơ vi sinh dạng lỏng từ chất thải chăn nuôi lợn (chứa vi sinh vật hữu ích là nấm T. harzianum) giúp kích thích sự sinh trưởng của cây trồng và giúp cây phát triển đồng đều. Điều này được thể hiện rõ ở Bảng 2.

- *Quá trình cây cải phát triển trong 28 ngày:*

Quá trình theo dõi sự phát triển của cây cải xanh trong 28 ngày cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa ba lô mẫu thí nghiệm: Đối chứng (TN - không bón phân), phân hóa học (NPK) và phân hữu cơ vi sinh lỏng (PSB và Bacillus). Kết quả theo dõi cho thấy sự phát triển của cây ở các lô thí nghiệm sử dụng phân hữu cơ vi sinh diễn ra chậm trong hai tuần đầu, do phân bón hữu cơ có tác dụng chậm, nhưng tốc độ tăng trưởng của cây trồng sẽ được cải thiện đáng kể ở các giai đoạn sau.

Ở giai đoạn 1-14 ngày, chiều cao trung bình và số lá trung bình của cây ở lô thí nghiệm PB thấp hơn so với NPK, trong khi mẫu so sánh với mẫu đối chứng (TN) duy trì mức tăng trưởng ổn định nhưng chậm hơn cả hai loại phân bón. Do đó, sự tăng trưởng ở giai đoạn này diễn ra chậm hơn so với lô mẫu NPK, bởi trong phân bón hóa học cây hấp thụ được nguồn dinh dưỡng vô cơ sẵn có ngay lập tức.

Bước sang giai đoạn 15-28 ngày, tốc độ sinh trưởng của cây cải ở nghiệm thức PB tăng mạnh và vượt trội so với các nghiệm thức còn lại. Ngoài ra, hoạt động của PSB còn giúp ổn định pH vùng rễ, đồng thời cố định nitơ và hòa tan lân khó tan, tạo môi trường thuận lợi cho sự sinh trưởng bền vững. Đến ngày thứ 28, chiều cao trung bình của cây ở nghiệm thức PB đạt 15.8 cm, cao hơn so với nghiệm thức NPK (15.2 cm) và đối chứng (13.0 cm). Ngày 28, số lá trung bình ở nghiệm thức PB đạt 9.8 lá/cây, cao hơn so với NPK 9.5 lá/cây và đối chứng 8.2 lá/cây. Sự khác biệt này cho thấy phân hữu cơ vi sinh không chỉ duy trì tốc độ sinh trưởng ổn định, mà còn nâng cao chất lượng sinh lý của cây nhờ cải thiện cấu trúc đất, tăng khả năng giữ ẩm và cung cấp dinh dưỡng chậm – bền vững hơn so với phân hóa học. Ngoài ra, quan sát hình thái cho thấy lá ở nghiệm thức PB có màu xanh đậm, dày và bóng hơn, phản ánh hàm lượng diệp lục và tốc độ quang hợp cao hơn. Điều này cho thấy tác dụng tổng hợp của PB không chỉ dừng lại ở cung cấp dinh dưỡng, mà còn giúp cải thiện sinh lý quang hợp và trao đổi chất của cây.

Chỉ tiêu	Số lá trung bình/cây			Chiều cao trung bình/cây		
	TN (Không bón phân)	NPK (Phân bón hoá học)	PB (PSB + Bacillus)	TN (Không bón phân)	NPK (Phân bón hoá học)	PB (PSB + Bacillus)
Ngày 1	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0
Ngày 7	3.0	3.5	3.1	4.6	6.2	5.8
Ngày 14	4.8	5.6	5.0	6.9	8.9	8.4
Ngày 21	6.5	7.4	7.6	9.4	12.0	12.3
Ngày 28	8.2	9.5	9.8	13.0	15.2	15.8

Bảng 3. Số lá và chiều cao của cây cải xanh trong 28 ngày



a) Rau không bón phân

b) Rau bón phân hữu cơ
lông PSB

c) Rau bón phân bón hóa
học

Hình ảnh của cây cải ở trong điều kiện không bón phân, bón phân bón hữu cơ lông PSB, và bón phân hóa học

- *Môi trường đất trong 3 mẫu thí nghiệm*

Sau 28 ngày thí nghiệm, kết quả quan sát và phân tích mẫu đất cho thấy nghiệm thức bón phân hữu cơ vi sinh lông PB có sự cải thiện rõ rệt về đặc tính lý - sinh học so với các đối chứng. Đất ở mẫu PB duy trì độ ẩm ổn định, cấu trúc tơi xốp, thoáng khí, đồng thời có khả năng thấm, thoát và giữ nước tốt hơn so với mẫu không bón phân (TN) và mẫu bón phân hóa học (NPK). Màu đất chuyển sang nâu sẫm hơn, phản ánh sự gia tăng hàm lượng chất hữu cơ và hoạt tính của hệ vi sinh vật đất. Kết quả này cho thấy các chủng *Bacillus* và vi khuẩn quang hợp (PSB) tồn tại trong phân bón đã thúc đẩy quá trình phân giải và khoáng hóa chất hữu cơ, qua đó cải thiện độ phì, cấu trúc và khả năng sinh học của đất, góp phần nâng cao chất lượng đất và hiệu quả sinh trưởng của cây trồng.

Kết luận

Như vậy, việc ứng dụng vi khuẩn quang hợp (Photosynthetic Bacteria) kết hợp *Bacillus* trong xử lý nước thải chăn nuôi việc ứng dụng vi khuẩn quang hợp (PSB) kết hợp chủng vi sinh vật *Bacillus* trong xử lý nước thải chăn nuôi là một hướng đi khả thi và hiệu quả. Quá trình xử lý không chỉ giúp giảm thiểu ô nhiễm hữu cơ trong nước thải, mà còn chuyển hóa nguồn chất thải thành phân bón hữu cơ vi sinh có giá trị sử dụng cao. Các thông số phân tích cho thấy dung dịch phân bón PB có pH trung tính (7.55), hàm lượng đạm (N) tổng hợp đạt 2.71%, lân (P) tổng hợp đạt 1.73%, kali tổng hợp đạt 2.22% cùng tỷ lệ chất hữu cơ tổng số (OM) đạt 15,2% - đều nằm trong ngưỡng phù hợp với tiêu chuẩn của phân bón hữu cơ sinh học lỏng. Mật độ *Bacillus* đạt 4.4×10^8 CFU/mL và mật độ PSB 1.3×10^7 .

Bên cạnh đó, quá trình nghiên cứu đã chứng minh rằng việc sử dụng PB mang lại hiệu quả kép: vừa góp phần xử lý triệt để nguồn nước thải chăn nuôi, vừa tạo ra sản phẩm hữu ích phục vụ nông nghiệp. Đây là minh chứng rõ ràng cho tiềm năng của mô hình kinh tế tuần hoàn trong nông nghiệp, trong đó chất thải của một quá trình sản xuất được tái sử dụng làm đầu vào cho quá trình khác, giảm thiểu phát thải ra môi trường.

Tổng thể, kết quả nghiên cứu khẳng định rằng công nghệ xử lý nước thải chăn nuôi bằng hệ vi khuẩn PSB – Bacillus là một giải pháp sinh học thân thiện, chi phí thấp và hiệu quả cao, phù hợp để áp dụng ở quy mô hộ gia đình và trang trại nhỏ. Việc phát triển và ứng dụng rộng rãi quy trình này không chỉ giúp bảo vệ môi trường nông thôn, mà còn góp phần nâng cao giá trị kinh tế của chất thải nông nghiệp, hướng đến nền nông nghiệp bền vững, tuần hoàn và an toàn sinh học trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lê Huy Hoàng chủ biên. Công nghệ 11- Công nghệ chăn nuôi. Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam. 2023
2. Nguyễn Tất Thắng chủ biên. Công nghệ 11- Công nghệ chăn nuôi. Nhà xuất bản Đại học Huế. 2023.
5. TS Hoàng Hải. Vi sinh vật đại cương. Nhà xuất bản Nông nghiệp. 2008
6. Nguyễn Lâm Dũng chủ biên. Vi sinh vật học. Nhà xuất bản giáo dục 2003
8. Các trang Web

<https://luatvietnam.vn/nong-nghiep/luat-chan-nuoi-2018-169344-d1.html>

<https://vneconomy.vn/nganh-chan-nuoi-van-nhap-sieu-khung.htm>

https://www.researchgate.net/publication/7386161_Applications_of_photosynthetic_bacteria_for_medical

<https://xaydungso.vn/blog/sinh-hoc-vi-sinh-quang-hop-psb.htm>

https://www.mdpi.com/2073-8994/15/2/525?utm_source

<https://www.frontiersin.org/journals/bioengineering-and-biotechnology>

<https://vi-khuan-quang-hop-psb>

<https://aquavet.vn/bacillus.html>

<https://tapchinuoc.vn/viet-nam-tim-cach-tang-ty-le-xu-ly-chat-thai-chan-nuoi>