

Ứng dụng than sinh học từ phế phẩm nông nghiệp để loại bỏ amoni, phosphat và oxytetracycline trong nước thải nông nghiệp

Đoàn Minh Anh, Phạm Thị Trang, Vũ Mai Anh, Bùi Thị Lam, Hoàng Trung Nam, Trần Thị Ngọc Anh, Đinh Thị Thúy Hằng*

Viện Môi trường, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, 484 Lạch Tray, phường Lê Chân, TP. Hải Phòng, Việt Nam

Ngày nhận bài 2/5/2025; ngày chuyển phản biện 5/5/2025; ngày nhận phản biện 18/5/2025; ngày chấp nhận đăng 11/12/2025

Tóm tắt:

Than sinh học (TSH) có nguồn gốc thiên nhiên trên cơ sở tận dụng một số phế phẩm nông nghiệp như lõi ngô, xơ dừa, trấu và bã mía đã được tổng hợp bằng phương pháp đốt thiếu khí và ủ cát. Vật liệu sau khi tổng hợp đã được ứng dụng để loại bỏ phosphat, amoni và dư lượng kháng sinh oxytetracycline trong nước thải nông nghiệp. Vật liệu đạt cân bằng hấp phụ sau 10 phút và có pH hấp phụ tối ưu tại pH 5 đối với PO_4^{3-} , pH 7 đối với oxytetracycline (OTC) và pH 9 đối với NH_4^+ . Dữ liệu cân bằng hấp phụ phù hợp với mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir với tải trọng hấp phụ cực đại dao động trong khoảng 7,78-9,16 mg/g đối với NH_4^+ ; 4,80-6,32 mg/g đối với PO_4^{3-} ; 3,04-4,38 mg/g đối với OTC. Các loại TSH này được ứng dụng để xử lý chất ô nhiễm trong mẫu nước thải nông nghiệp tại địa phương và có tải trọng 5,17-7,99 mg/g đối với NH_4^+ ; 3,71-5,97 mg/g đối với PO_4^{3-} và 2,14-4,14 mg/g đối với OTC.

Từ khóa: nước thải nông nghiệp, oxytetracycline, phụ phẩm nông nghiệp, than sinh học.

Chỉ số phân loại: 2.4, 2.7, 4.7

Application of agricultural waste-derived biochar for removing ammonium, phosphate, and oxytetracycline from agricultural wastewater

Minh Anh Doan, Thi Trang Pham, Mai Anh Vu, Thi Lam Bui, Trung Nam Hoang, Thi Ngoc Anh Tran, Thi Thuy Hang Dinh*

Institute of Environment, Vietnam Maritime University, 484 Lach Tray Street, Le Chan Ward, Hai Phong City, Vietnam

Received 2 May 2025; revised 18 May 2025; accepted 11 December 2025

Abstract:

Biochars derived from agricultural residues, including corn cobs, coconut fiber, rice husk, and bagasse, have been synthesised by oxygen-limited combustion and sand incubation techniques. Following synthesis, the biochar materials were applied to remove phosphate, ammonium, and residual oxytetracycline (OTC). The materials reached the adsorption equilibrium within 10 minutes and exhibited optimal adsorption at pH 5 for PO_4^{3-} , pH 7 for OTC, and pH 9 for NH_4^+ . The equilibrium adsorption data fit the Langmuir adsorption isotherm model with maximum adsorption capacities ranging from 7.78 to 9.16 mg/g for NH_4^+ , 4.80 to 6.32 mg/g for PO_4^{3-} , and 3.04 to 4.38 mg/g for OTC. These biochars were applied to treat pollutants in local agricultural wastewater samples and exhibited adsorption capacities of 5.17-7.99 mg/g for NH_4^+ , 3.71-5.97 mg/g for PO_4^{3-} , and 2.14-4.14 mg/g for OTC.

Keywords: agricultural by-products, agricultural wastewater, biochar, oxytetracycline.

Classification numbers: 2.4, 2.7, 4.7

*Tác giả liên hệ: Email: dinhthuyhanghp@vimaru.edu.vn

1. Mở đầu

Ô nhiễm môi trường nước là một trong những vấn đề quan trọng cần được quan tâm giải quyết trong bối cảnh hiện nay. Trong nông nghiệp, việc sử dụng các loại phân bón để tăng năng suất cây trồng và bổ sung thuốc kháng sinh vào thức ăn để ngăn ngừa bệnh cho vật nuôi đã gây ra các vấn đề ô nhiễm môi trường nước. Thuốc kháng sinh được sử dụng rộng rãi để kiểm soát nhiễm trùng do vi khuẩn trong các lĩnh vực y tế, nông nghiệp và thú y [1]. Trong vài thập kỷ qua, thuốc kháng sinh đã được sử dụng rộng rãi không chỉ trong các liệu pháp điều trị cho con người như chữa bệnh truyền nhiễm, cấy ghép, hóa trị và can thiệp phẫu thuật, bên cạnh đó cũng cho các mục đích ngăn ngừa và điều trị trong nuôi trồng thủy sản và chăn nuôi và để tăng cường sản xuất trứng. Phát triển các hướng nghiên cứu hiệu quả để làm suy giảm hoặc loại bỏ dư lượng kháng sinh khỏi môi trường nước là một vấn đề rất quan trọng [2]. Bên cạnh đó, chất lượng nước thải canh tác một số loại cây nông nghiệp được nghiên cứu trên địa bàn huyện Đông Anh, Hà Nội cho thấy hàm lượng amoni (tính theo N) đạt tới 3,11 mg N/l; phosphat (tính theo P) đạt 2,50 mg P/l; photpho tổng số (tính theo P) đạt 5,0 mg P/l. Hàm lượng dinh dưỡng cao trong nước thải phản ánh hiện tượng rửa trôi phân bón dư thừa trong canh tác nông nghiệp và nguy cơ gây phì dưỡng tại các môi trường nước tiếp nhận. Vì vậy, cần có cảnh báo về việc sử dụng phân bón hợp lý trong canh tác nông nghiệp tại huyện Đông Anh (cũ) nói chung và Việt Nam nói riêng [3].

Trong những năm gần đây, TSH ngày càng nhận được sự chú ý như là một vật liệu thân thiện với môi trường, đặc biệt trong chiến lược giảm nhẹ biến đổi khí hậu. TSH hay còn gọi là Charcoal hoặc Biochar, là vật liệu giàu các bon, cấp hạt mịn, xốp, được sản xuất bằng cách nhiệt phân từ sinh khối hữu cơ trong điều kiện oxy hạn chế và ở nhiệt độ tương đối thấp (<700°C). TSH giàu cacbon, có cấu trúc xốp với diện tích bề mặt riêng cao, có khả năng hấp phụ một số chất ô nhiễm trong nước thải [4]. Nguồn nguyên liệu sản xuất TSH có thể bao gồm các loại phế phẩm nông nghiệp như dăm gỗ, trấu, xơ dừa, lõi ngô,

bã mía... Những đặc điểm này làm cho việc chế tạo và ứng dụng TSH trong xử lý môi trường mang lại hiệu quả về chi phí và giúp giảm lượng chất thải nông nghiệp cần xử lý.

Các phế phẩm nông nghiệp như bã mía, trấu, lõi ngô, xơ dừa... đã được nghiên cứu để chế tạo TSH nhằm xử lý một số chất ô nhiễm trong môi trường nước. Quy trình tổng hợp TSH thường được thực hiện trong điều kiện hạn chế oxy ở nhiệt độ dưới 700°C [5]. Phế phẩm rơm rạ đã được nghiên cứu nhiệt phân ở các mức nhiệt độ 300, 400 và 500°C cho kết quả khả quan [6]. Mùn cưa và vỏ trấu cũng đã được nghiên cứu nhiệt phân yếm khí ở nhiệt độ trong khoảng 300, 400, 500, 600 và 700°C [7]. Có thể thấy, nhiệt độ nhiệt phân có ảnh hưởng tới thành phần nguyên tố cacbon trong TSH, là yếu tố quan trọng quyết định khả năng hấp phụ của vật liệu sau tổng hợp [8].

Than sinh học từ tre đã được nghiên cứu ứng dụng để xử lý amoni trong nước thải ở pH 8, thời gian tiếp xúc 15 phút với liều lượng chất hấp phụ là 1 g/l, dung lượng hấp phụ cực đại đạt 4,87 mg/g [9]. TSH từ lõi ngô được biến tính bằng H_3PO_4 và NaOH đã được ứng dụng để loại bỏ amoni trong nước đã cho kết quả dung lượng hấp phụ tối đa 16,6 mg/g tại pH>7, thời gian đạt cân bằng hấp phụ là 60 phút [10]. Nghiên cứu về ứng dụng TSH từ rong biển để loại bỏ chất kháng sinh ciprofloxacin (CIP) cho khả năng loại bỏ CIP vượt trội (384,6 mg/g) [11].

Trong bài báo này, các phế phẩm nông nghiệp gồm lõi ngô, trấu, xơ dừa và bã mía được nghiên cứu chế tạo thành TSH và ứng dụng để loại bỏ phosphat, amoni và OTC trong mẫu nước thải nông nghiệp được lấy từ một số hợp tác xã chăn nuôi và canh tác tại địa phương.

2. Thực nghiệm

2.1. Tổng hợp than sinh học

Các loại phế phẩm nông nghiệp gồm trấu, lõi ngô, bã mía, xơ dừa được thu tại địa phương, sau đó được xử lý riêng biệt qua các bước rửa, phơi khô, cắt nhỏ đến kích thước 2-3 mm và nung ở khoảng 400°C trong 30 phút [4, 8] và tiếp tục ủ kín trong thùng, phủ cát trong 30 phút.

2.2. Khảo sát một số thông số đặc trưng của quá trình hấp phụ

Chuẩn bị các mẫu thử chứa phosphat, amoni và thuốc kháng sinh oxytetracycline và tiến hành thử nghiệm trên từng loại vật liệu để khảo sát thời gian cân bằng hấp phụ (sau các khoảng thời gian 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30 phút), pH tối ưu (khảo sát tại pH 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) ở nồng độ mẫu thử ban đầu của NH_4^+ , PO_4^{3-} , OTC đều là 10 mg/l. Cân 5 g TSH cho vào cốc 1000 ml và cho 500 ml mẫu thử vào khuấy đều trên máy khuấy từ với tốc độ 200 vòng/phút.

Xác định tải trọng hấp phụ cực đại của các vật liệu đối với từng chất NH_4^+ , PO_4^{3-} , OTC bằng cách chuẩn bị 10 cốc thủy tinh tương ứng với các mẫu thử ở các nồng độ C_{i1} đến C_{i10} (với C_i là nồng độ của mẫu ban đầu, có nồng độ nằm trong khoảng 1-0 mg/l). Điều chỉnh pH của các mẫu thử đến pH tối ưu, khuấy trộn vật liệu trong mẫu thử trong khoảng thời gian đạt cân bằng hấp phụ đã khảo sát. Xác định nồng độ dung dịch sau hấp phụ C_{f1} đến C_{f10} (với C_f là nồng độ của mẫu sau khi hệ phản ứng đạt trạng thái cân bằng hấp phụ), tính tải trọng hấp phụ q . Lập đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa C_i/q và C_f theo phương trình dạng $y=ax + b$. Khi đó tải trọng hấp phụ cực đại $q_{\max}=1/a$. Mô hình hấp phụ Langmuir được xây dựng dựa trên sự phụ thuộc của tải trọng hấp phụ q (mg/g) vào C_f (mg/l).

2.3. Khảo sát khả năng loại bỏ chất ô nhiễm trong nước thải

Tiến hành đánh giá khả năng loại bỏ các chất ô nhiễm trong mẫu nước thải nông nghiệp được lấy vào tháng 3/2024 từ đầm nuôi tôm và mương của trang trại nuôi gà tại hợp tác xã sản xuất kinh doanh dịch vụ nông nghiệp Tân Vũ và tại mương của vườn cây canh tác tại

hộ gia đình có đất canh tác tại Hải An, TP Hải Phòng (trước sập nhập). Mẫu nước thải được đo nhanh giá trị pH và nhiệt độ tại hiện trường, và được phân tích trong phòng thí nghiệm của Viện Môi trường, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam để đánh giá hàm lượng một số chất ô nhiễm bao gồm amoni (theo phương pháp EPA350.2), phosphat (theo TCVN 6202:2008), OTC (theo phương pháp trắc quang tại bước sóng 357 nm [12]).

Mẫu được loại bỏ các chất lơ lửng, điều chỉnh pH về khoảng pH tối ưu đã khảo sát và tiến hành nghiên cứu bằng phương pháp hấp phụ động trên cột. Chuẩn bị cột hấp phụ bằng ống nhựa PVC có chiều dài 30 cm, đường kính trong 23 mm, bịt đáy bằng vải màn, nhồi 20 cm cột bằng TSH. Phần vật liệu đã nhồi có thể tích 83 ml, được tính là 1 bed-volume. Khối lượng vật liệu nhồi cột là 6,5 g đối với TSH trấu, 10,1 g đối với TSH lõi ngô, 5,2 g đối với TSH bã mía và 7,9 g đối với TSH xơ dừa.

Cứ 10 bed-volume nước thải qua cột thì lấy mẫu phân tích một lần, đến khi vật liệu đạt trạng thái bão hòa thì dừng lại. Tính toán lượng nước thải có thể được xử lý và lượng chất ô nhiễm đã bị giữ lại trên cột.

3. Kết quả và bàn luận

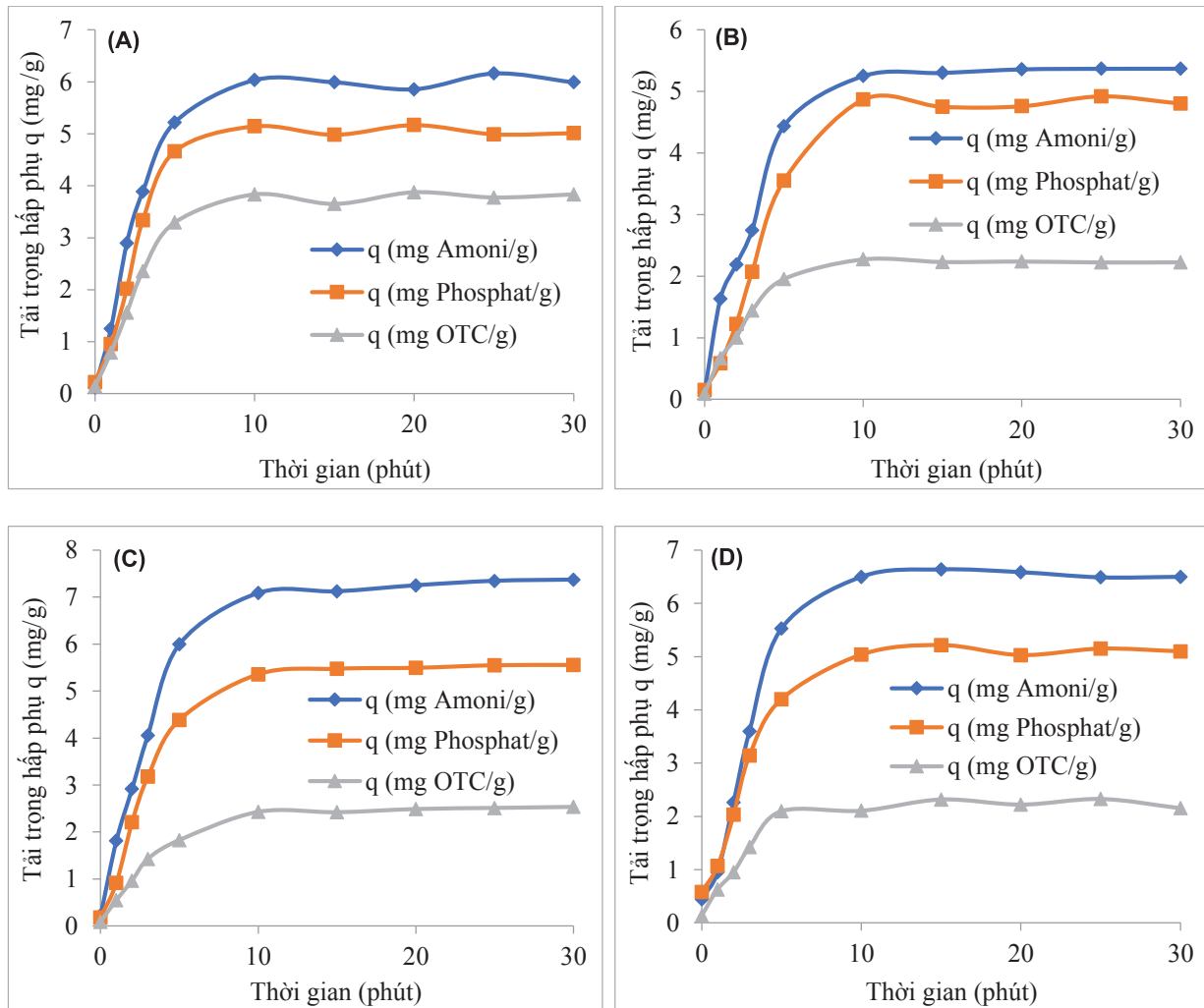
3.1. Kết quả tổng hợp than sinh học

Vật liệu TSH từ trấu, lõi ngô, bã mía, xơ dừa được tổng hợp với hiệu suất nằm trong khoảng 30-45% (hình 1).

Than sinh học sau khi chế tạo có cấu trúc tương đối đồng nhất với trạng thái ban đầu. Các loại TSH sau khi tổng hợp có thành phần chính là cacbon. Vật liệu từ xơ dừa và bã mía có cấu trúc xốp nhất và dễ vỡ, hiệu suất tổng hợp đạt 30-35%. Vật liệu từ lõi ngô và trấu có cấu trúc ổn định, tương đồng với hình thái ban đầu, hiệu suất tổng hợp tương đối tốt (~45%).



Hình 1. Vật liệu than sinh học từ trấu, lõi ngô, bã mía, xơ dừa.



Hình 2. Biểu đồ biểu diễn thời gian đạt cân bằng hấp phụ của than sinh học chế tạo từ (A) trấu, (B) lõi ngô, (C) bã mía, (D) xơ dừa đối với NH_4^+ , PO_4^{3-} , oxytetracycline.

3.2. Kết quả khảo sát thời gian đạt cân bằng hấp phụ của vật liệu

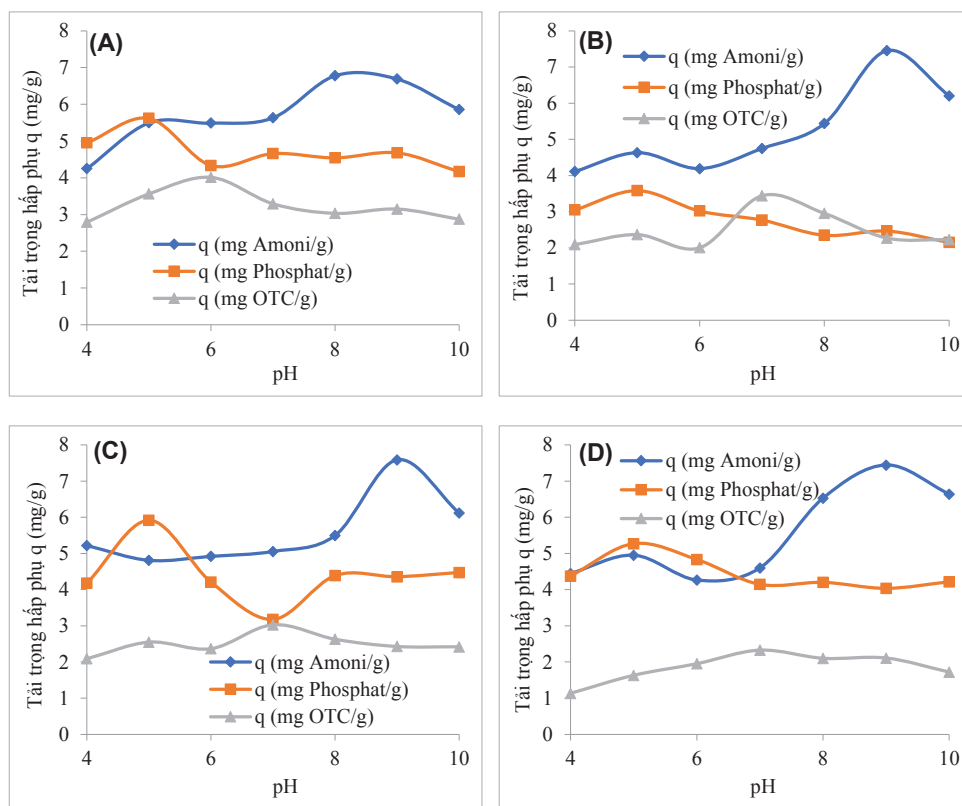
Kết quả khảo sát thời gian đạt cân bằng hấp phụ của các TSH được thể hiện trong hình 2.

Từ biểu đồ trên nhận thấy, khả năng hấp phụ của tất cả các TSH đạt trạng thái cân bằng hấp phụ đối với tất cả các chất sau khoảng thời gian 10 phút. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu đã công bố trước đây về TSH [9]. Kết quả ở hình 2 cho thấy quá trình hấp phụ được chia thành 2 giai đoạn chính. Giai đoạn 1 diễn ra trong khoảng 10 phút, lượng chất ô nhiễm bị hấp phụ lên vật liệu tăng nhanh đến điểm bão hòa. Giai đoạn 2 (sau 10 phút) thì lượng chất ô nhiễm bị hấp phụ không đáng kể lên cả 4 loại vật liệu, tải trọng hấp phụ đối với OTC đạt 2,11-3,81 mg/g, amoni đạt 5,31-7,15 mg/g và

phosphat đạt 2,87-5,24 mg/g. Kết quả này có thể được giải thích do sự chênh lệch lớn về nồng độ của các chất ô nhiễm trong mẫu ở pha lỏng và vật liệu ở pha rắn đã làm cho các chất ô nhiễm bị hấp phụ nhanh chóng trong giai đoạn đầu. Kết quả cũng cho thấy, khi vật liệu đã đạt trạng thái cân bằng hấp phụ, xảy ra sự giải hấp phụ nhẹ và quá trình này diễn ra song song với quá trình hấp phụ, làm cho nồng độ các chất ô nhiễm dao động trong khoảng 2% theo thời gian. Kết quả này cũng đã được xác nhận trên một số nghiên cứu đã công bố [13, 14].

3.3. Kết quả khảo sát pH tối ưu

Khảo sát vùng pH hấp phụ tối ưu của các loại TSH đối với NH_4^+ , PO_4^{3-} , OTC sau khi khuấy trong thời gian đạt cân bằng hấp phụ được thể hiện trong hình 3.



Hình 3. Biểu đồ biểu diễn ảnh hưởng của pH đối với khả năng hấp phụ của than sinh học chế tạo từ (A) trấu, (B) lõi ngô, (C) bã mía, (D) xơ dừa đối với NH_4^+ , PO_4^{3-} , oxytetracycline.

Kết quả khảo sát khoảng pH hấp phụ đối với NH_4^+ , PO_4^{3-} , OTC được tổng hợp trong bảng 1:

Bảng 1. Khoảng pH tối ưu của các loại than sinh học.

	pH hấp phụ			
	Trấu	Lõi ngô	Bã mía	Xơ dừa
PO_4^{3-}	5	5	5	5
NH_4^+	8-9	9	9	9
OTC	7	7	7	7

Kết quả khảo sát cho thấy khoảng pH hấp phụ tối ưu của vật liệu đối với các chất ô nhiễm là tương đối khác nhau. Khi điều chỉnh độ pH của mẫu thử từ 4 đến 10 và giữ ở tốc độ khuấy 200 vòng/phút, lượng chất phosphat và OTC bị hấp phụ lên vật liệu giảm dần, đạt cực đại ở pH 9 đối với amoni, pH 5 đối với phosphat và pH 7 đối với OTC. Khi độ pH của mẫu thử tăng lên, số lượng tâm hoạt động tích điện âm tăng lên, còn các tâm hoạt động tích điện dương giảm đi. Quá trình hấp phụ tăng lên đối với amoni, giảm xuống đối với phosphat và OTC giảm xuống có thể do lực hút tĩnh điện xảy ra giữa các chất này với chất hấp phụ rắn mà trên đó các nhóm bề mặt có thể bị ion hóa mang điện tích âm hơn khi điều chỉnh pH của mẫu thử từ axit sang bazơ [14].

3.4. Kết quả khảo sát tải trọng hấp phụ cực đại theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir

Mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir là mô hình cổ điển, đơn giản và mô tả được cân bằng giữa các ion bị hấp phụ trên chất hấp phụ và các ion trong dung dịch tại một nhiệt độ không đổi. Phương trình hấp phụ Langmuir có dạng:

$$\frac{C_f}{q} = \frac{1}{q_{\max} \times K} + \frac{C_f}{q_{\max}}$$

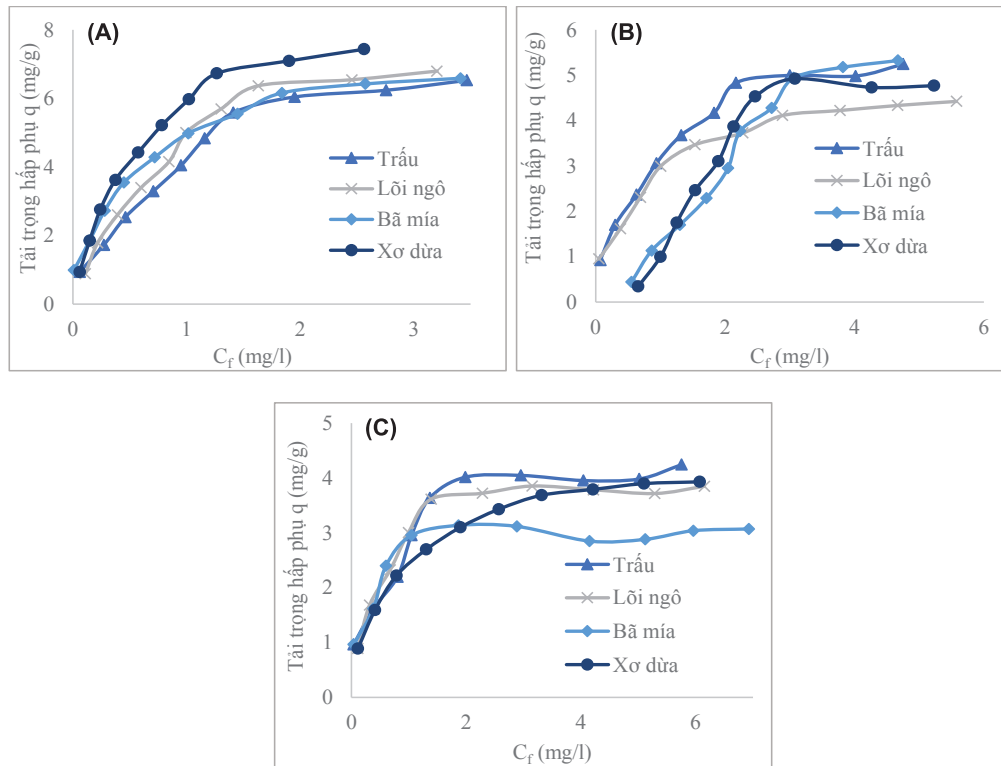
trong đó, C_f là nồng độ của mẫu sau khi hệ phản ứng đạt trạng thái cân bằng hấp phụ, q là tải trọng hấp phụ, $q_{\max}$ là tải trọng hấp phụ cực đại, K là hằng số Langmuir.

Phương trình Langmuir thể hiện độ bao phủ của các phân tử trên bề mặt rắn với nồng độ của môi trường phía trên bề mặt chất rắn ở nhiệt độ cố định và sự hấp phụ bị giới hạn ở độ bao phủ đơn lớp và lực liên phân tử giảm theo khoảng cách từ bề mặt hấp phụ. Các đường đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir thể hiện mối quan hệ gần như tuyến tính của TSH từ trấu, lõi ngô, bã mía, xơ dừa đối với các chất NH_4^+ , PO_4^{3-} , OTC.

Dữ liệu cân bằng hấp phụ của TSH cho thấy mô hình Langmuir phù hợp với dữ liệu thực nghiệm, thể hiện sự phụ thuộc của C_f/q vào C_f tuân theo hàm tuyến tính $y=ax+b$ với hệ số tương quan $R^2>0,97$. Từ đó, tải trọng hấp phụ cực đại của các vật liệu này được xác định theo phương trình $q_{\max}=1/a$ cho từng chất và kết quả được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Tải trọng hấp phụ cực đại của các loại than sinh học đối với NH_4^+ , PO_4^{3-} , oxytetracycline.

Tải trọng hấp phụ cực đại đối với các chất ô nhiễm	Than sinh học tổng hợp từ phế phẩm			
	Trấu	Lõi ngô	Bã mía	Xơ dừa
$q_{\max} \text{ NH}_4^+ \text{ (mg/g)}$	7,78	8,82	7,93	9,16
$q_{\max} \text{ PO}_4^{3-} \text{ (mg/g)}$	6,04	4,80	6,32	5,68
$q_{\max} \text{ OTC (mg/g)}$	4,35	4,08	3,04	4,38



Hình 4. Mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir của than sinh học đối với (A) NH_4^+ , (B) PO_4^{3-} , (C) oxytetracycline.

Như vậy, dữ liệu cân bằng hấp phụ NH_4^+ , PO_4^{3-} , OTC khi sử dụng vật liệu than sinh học tổng hợp từ trấu, lõi ngô, bã mía và xơ dừa (trong hình 4) phù hợp với mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir.

Kết quả cho thấy, các loại TSH có khả năng hấp phụ tốt nhất với NH_4^+ , với tải trọng hấp phụ cực đại nằm trong khoảng 7,78-9,16 mg/g, tải trọng hấp phụ cực đại đối với PO_4^{3-} nằm trong khoảng 4,80-6,32 mg/g, tải trọng hấp phụ cực đại đối với OTC nằm trong khoảng 3,04-4,38 mg/g. Vật liệu TSH từ xơ dừa có hiệu quả hấp phụ tốt nhất đối với NH_4^+ và OTC, còn vật liệu từ bã mía cho hiệu quả tốt nhất đối với PO_4^{3-} . Kết quả này cho thấy, hàm lượng cacbon trong vật liệu TSH từ xơ dừa có thể cao hơn các vật liệu còn lại, cấu trúc vật liệu tơi xốp với nhiều tâm hoạt động hơn nên hiệu quả hấp phụ cũng lớn hơn các vật liệu còn lại.

Như vậy, mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir là phù hợp với quá trình hấp phụ NH_4^+ , PO_4^{3-} , OTC bằng vật liệu TSH tổng hợp từ trấu, lõi ngô, bã mía và xơ dừa (hình 4).

3.5. Kết quả ứng dụng than sinh học để xử lý các chất ô nhiễm trong nước thải nông nghiệp

3.5.1. Kết quả đánh giá thành phần mẫu nước thải

Mẫu nước được lấy tại đầm nuôi tôm của hợp tác xã sản xuất kinh doanh dịch vụ nông nghiệp Tân Vũ (N01), nước thải trong mương thoát nước của trang trại nuôi gà của hợp tác xã sản xuất kinh doanh dịch vụ nông nghiệp Trảng Cát (N02), và tại ao nước tưới của 1 hộ gia đình đang canh tác tại phường Nam Hải, Hải An, TP Hải Phòng (N03) có thành phần chất ô nhiễm được thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3. Thành phần các chất ô nhiễm trong các mẫu nước thải nông nghiệp.

STT	Thông số	Đơn vị	Mẫu N01	Mẫu N02	Mẫu N03
1	Nhiệt độ	°C	21	22	22
2	pH		7,6	9,1	8,7
3	NH_4^+	mg/l	9,4	15,1	16,2
4	PO_4^{3-}	mg/l	7,1	10,4	11,3
5	OTC	mg/l	8,1	5,9	6,7

3.5.2. Kết quả đánh giá hiệu quả xử lý các chất ô nhiễm trong mẫu thực

Kết quả ứng dụng vật liệu TSH để nhồi cột xử lý chất ô nhiễm trong 3 mẫu thực được thể hiện trong bảng 4.

Bảng 4. Kết quả thử nghiệm trên mẫu thực bằng phương pháp hấp phụ động.

Mẫu thực	Vật liệu	Số bed-volume xử lý được (83 ml)			Lượng chất đã bị hấp phụ (mg/g vật liệu)		
		NH_4^+	PO_4^{3-}	OTC	NH_4^+	PO_4^{3-}	OTC
N01	TSH từ trấu	60	60	40	7,20	5,44	4,14
	TSH từ lõi ngô	100	70	50	7,72	4,08	3,33
	TSH từ bã mía	40	50	20	6,00	5,67	2,59
	TSH từ xơ dừa	70	80	30	6,91	5,97	2,55
N02	TSH từ trấu	30	40	50	5,78	3,98	3,77
	TSH từ lõi ngô	60	50	80	7,45	4,27	3,88
	TSH từ bã mía	30	30	30	7,23	4,98	2,83
	TSH từ xơ dừa	40	50	40	6,35	5,46	2,48
N03	TSH từ trấu	30	30	40	6,21	4,33	3,42
	TSH từ lõi ngô	60	40	70	7,99	3,71	3,85
	TSH từ bã mía	20	30	20	5,17	5,41	2,14
	TSH từ xơ dừa	40	50	40	6,81	5,94	2,82

Kết quả tính toán cho thấy, vật liệu có khả năng hấp phụ NH_4^+ , PO_4^{3-} , OTC với hiệu suất cao và tải lượng xấp xỉ tải lượng hấp phụ cực đại tính toán theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir. Vật liệu sau khi sử dụng bị biến tính và giảm thể tích 30-40%, gây khó khăn cho quá trình giải hấp phụ, tái sử dụng vật liệu. Tuy nhiên, với mục đích sử dụng tại chỗ các phế phẩm nông nghiệp tại địa phương để giải quyết vấn đề ô nhiễm của địa phương, việc ứng dụng kết quả của bài báo này là khả thi, hỗ trợ phát triển nông nghiệp bền vững. Vật liệu sau khi sử dụng có thể sử dụng để ủ phân compost, tái sử dụng để cải tạo dinh dưỡng đất, hạn chế ô nhiễm môi trường nước mặt khu vực tiếp nhận nước từ các hợp tác xã nông nghiệp này.

4. Kết luận

Các kết quả nghiên cứu cho thấy vật liệu TSH tổng hợp từ các phế phẩm nông nghiệp như lõi ngô, trấu, bã mía và xơ dừa có khả năng hấp phụ các chất dinh dưỡng NH_4^+ , PO_4^{3-} và dư lượng OTC trong nước. Quá trình hấp phụ tuân theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir. Tải trọng hấp phụ cực đại của các vật liệu này tương đương với các công trình đã công bố thuộc cùng lĩnh vực. Vật liệu được ứng dụng để xử lý chất ô nhiễm trong mẫu nước thải nông nghiệp tại địa phương bằng phương pháp hấp phụ động trên cột với tải lượng xử lý 20-100 bed-volume.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. Daghrir, P. Drogui (2013), "Tetracycline antibiotics in the environment: A review", *Environmental Chemistry Letters*, **11**(3), pp.209-227, DOI: 10.1007/s10311-013-0404-8.
- [2] X. Yang, Z. Chen, W. Zhao, et al. (2021), "Recent advances in photodegradation of antibiotic residues in water", *Chemical Engineering Journal*, **405**, DOI: 10.1016/j.cej.2020.126806.

- [3] L.N. Da, L.T.P. Quynh, P.T.M. Huong (2019), "Assessment of agricultural wastewater quality in Dong Anh district, Hanoi city", *Journal of Science and Technology*, **53**, pp.68-72 (in Vietnamese).

- [4] N.C. Manh, N.T.C. Hung, D.Q. Tri, et al. (2022), "Investigation of water treatment adsorption capacity of biochar made from agricultural by-product biomass", *Vietnam Journal of Hydrometeorology*, **39**(7), pp.23-33, DOI: 10.36335/VN/JHM.2022(738).23-33 (in Vietnamese).

- [5] X. Chen, G. Chen, L. Chen, Y. Chen, et al. (2011), "Adsorption of copper and zinc by biochars produced from pyrolysis of hardwood and corn straw in aqueous solution", *Bioresource Technology*, **102**(19), pp.8877-8884, DOI: 10.1016/j.biortech.2011.06.078.

- [6] X. Wang, N. Liu, Y. Liu, et al. (2017), "Adsorption removal of 17 β -estradiol from water by rice straw-derived biochar with special attention to pyrolysis temperature and background chemistry", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **14**(10), DOI: 10.3390/ijerph14101213.

- [7] H.J. Huang, T. Yang, F.J. Lai, et al. (2017), "Co-pyrolysis of sewage sludge and sawdust/rice straw for the production of biochar", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **125**, pp.61-68, DOI: 10.1016/j.jaap.2017.04.018.

- [8] O.R. Harvey, B.E. Herbert, L.J. Kuo, et al. (2012), "Generalized two-dimensional perturbation correlation infrared spectroscopy reveals mechanisms for the development of surface charge and recalcitrance in plant-derived biochars", *Environmental Science and Technology*, **46**(19), pp.10641-10650, DOI: 10.1021/es302971d.

- [9] P.N. Thoa, T.L.H. Ngan, N.H. Chiem (2021), "Research on the adsorption capacity of ammonium in biogas wastewater by bamboo-based biochar", *Journal of Natural Resources and Environment Science*, **37**, pp.26-36 (in Vietnamese).

- [10] V.T. Mai, T.V. Tuyen (2016), "Research on the ability to treat ammonia in water environment of corncob-based biochar modified with H_3PO_4 and NaOH", *VNU Journal of Science*, **32**(1S), pp.274-281 (in Vietnamese).

- [11] T.Q. Minh, N.M. Ky, H.T. Dung, et al. (2024), "Assessment of ciprofloxacin adsorption capacity in water using seaweed-derived biochar prepared via hydrothermal carbonization and $ZnCl_2$ activation", *Journal of Environment*, **3**, pp.12-16 (in Vietnamese).

- [12] J.M.K. Tshibamba, J.M. Kakumba, T.M. Mabaya, et al. (2023), "Development and validation of an ultraviolet-visible spectrophotometric method for quantifying oxytetracycline for veterinary use", *Frontiers in Analytical Science*, **3**, DOI: 10.3389/frans.2023.1066348.

- [13] D.V. Sarkhot, T.A. Ghezzehei, A.A. Berhe (2013), "Effectiveness of biochar for sorption of ammonium and phosphate from dairy effluent", *Journal of Environmental Quality*, **42**(5), pp.1545-1554, DOI: 10.2134/jeq2012.0482.

- [14] M.K. Manikam, A.A. Halim, M.M. Hanafiah, et al. (2019), "Removal of ammonia nitrogen, nitrate, phosphorus and COD from sewage wastewater using palm oil boiler ash composite adsorbent", *Desalination and Water Treatment*, **149**, pp.23-30, DOI: 10.5004/dwt.2019.23842.