

HẤP PHỤ LÂN CỦA ĐẤT ACRISOLS HAPPLIC (TÂY NINH) ĐƯỢC CẢI TẠO BẰNG THAN SINH HỌC CÓ NGUỒN GỐC TỪ PHÂN CHIM CÚT

NGUYỄN VĂN PHƯƠNG, NGUYỄN KHÁNH HOÀNG*

Viện Khoa học, Công nghệ & Quản lý Môi trường, Trường Đại học Công nghiệp Tp HCM,

* Tác giả liên hệ: nguyenkhanhhoang@iuh.edu.vn

DOIs: <https://www.doi.org/10.46242/jstiuh.v74i2.5067>

Tóm tắt. Phốt pho (P) rất quan trọng cho sự phát triển của cây. Khảo sát việc sử dụng than sinh học có nguồn gốc từ phân chim cút lên khả năng hấp phụ lân của mẫu đất Acrisols Haplic (Tây Ninh) đã được tiến hành. Thí nghiệm ủ đất với các dạng than sinh học (nhiệt phân ở 300, 450 và 600°C) ở tỉ lệ 4% w/w trong 60 ngày với độ ẩm được duy trì là 60%. Mẫu sau ủ được làm khô trong không khí, nghiền qua rây và được dùng cho thí nghiệm hấp phụ. Các mẫu đất được tiếp xúc với dung dịch P với các nồng độ khác nhau từ 0 đến 400 mg/L và động học quá trình hấp phụ tại các thời điểm khác nhau cũng được thực hiện. Kết quả cho thấy dữ liệu hấp phụ tuân theo cả hai phương trình đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich, với dung lượng hấp phụ P cao nhất ở mẫu đất cải tạo bằng than sinh học 300°C (1,73 mg/g). Mô hình động học hấp phụ bậc hai phù hợp hơn cho quá trình hấp phụ P. Cơ chế hấp phụ hóa học có liên quan đến tương tác hóa học giữa ion phốt phát và các dạng than sinh học. Phát hiện này cho thấy khả năng ứng dụng than sinh học ở 300°C để tăng cường khả năng hấp phụ lân ở mẫu đất Acrisols Haplic của tỉnh Tây Ninh là có tính khả thi.

Từ khóa: đất Acrisol, hấp phụ, P dễ tiêu, phân chim cút, than sinh học.

1 GIỚI THIỆU

Lân dưới dạng các anion phốt phát ($H_2PO_4^-$ và HPO_4^{2-}) là nguyên tố cần thiết cho cây trồng [1]. Để giảm thiểu hụt P và đảm bảo năng suất cây trồng, gần 30 triệu tấn phân P được bón mỗi năm. Có tới 80% lượng phân P được bón bị mất đi do rửa trôi hay cố định trong đất [2]. Theo nghiên cứu của Han et al., than sinh học có vai trò trong việc hấp phụ hay giải hấp phụ lân trong đất [1]. Phương pháp phổ biến sản xuất than sinh học là từ chất thải nông nghiệp [3, 4]. Các điều kiện như: nhiệt độ, thời gian lưu và tốc độ gia nhiệt trong quá trình nhiệt, nguồn gốc nguyên liệu, kích cỡ vật liệu có thể ảnh hưởng đến tính khả dụng của lân. Sự hấp phụ P hay giải hấp phụ thuộc đặc tính của than sinh học và đất [5]. Cơ chế để các chất vô cơ hấp phụ lên than sinh học là do trao đổi ion, lực hút tĩnh điện, kết tủa bề mặt [6]. Trong đó, đặc tính hóa học bề mặt than sinh học là quan trọng [7]. Hiệu quả hấp phụ phốt pho (P) của than sinh học trong đất là phức tạp với nhiều yếu tố khác nhau. Một số nghiên cứu cho thấy than sinh học có thể thúc đẩy quá trình hấp thụ P, trong khi một số khác lại cho thấy tác dụng ngược lại [5]. Những yếu tố chính ảnh hưởng đến khả năng hấp thụ P của than sinh học bao gồm: Điều kiện sản xuất: Nhiệt độ, thời gian giữ nhiệt và tốc độ gia nhiệt có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng hấp thụ P của nó; Nguồn nguyên liệu: Loại vật liệu hữu cơ được sử dụng làm nguyên liệu, chẳng hạn như phụ phẩm nông nghiệp hoặc sinh khối gỗ, sẽ ảnh hưởng đến khả năng hấp thụ P của than sinh học [8]. Nói chung, các hạt nhỏ hơn có diện tích bề mặt lớn hơn, do đó có tiềm năng hấp thụ P cao hơn. Hiểu rõ những yếu tố này là điều cần thiết để tối ưu hóa việc sản xuất và sử dụng than sinh học nhằm quản lý hiệu quả khả năng bổ sung thường xuyên P trong đất nông nghiệp.

Phân chim cút, một loại gia cầm đang được nuôi phổ biến ở tỉnh Tây Ninh và các khu vực lân cận, là một nguồn nguyên liệu thô có giá trị để sản xuất than sinh học. Các chất dinh dưỡng có trong phân chim cút với tổng hàm lượng N là 2,86% và các chất dinh dưỡng khác như protein 21%, nitơ 0,061%, P_2O_5 0,209% và hàm lượng K_2O 3,133% [9]. Việc sử dụng phân chim cút tươi, hoặc ngay cả phân đã ủ thông thường đã gây ô nhiễm môi trường như phát tán mùi hôi, nhiều loại vi sinh có khả năng mang mầm bệnh gây hại cho con người [10]. Do vậy, sử dụng phân chim cút thông qua than sinh học được nhiệt phân ở nhiệt độ cao sẽ khắc phục được các hạn chế do sử dụng trực tiếp. Tỉnh Tây Ninh nằm ở phía đông nam Việt Nam, trong đó loại đất Acrisols chiếm 84,1%. Đất Acrisols Haplic ở tỉnh Tây Ninh có kết cấu nhẹ, dễ bị xói mòn và đất có tính axit. Mất cân bằng dinh dưỡng và thất thoát dinh dưỡng ở vùng đất này đã được báo cáo [11]. Than sinh học từ phân chim cút có thể cải thiện khả năng hấp phụ phốt pho (P) của đất, tuy nhiên, thông tin này còn rất hạn chế. Do đó, nhằm góp phần lấp đầy khoảng trống kiến thức này, nghiên cứu này đã tập trung vào việc đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ nhiệt phân lên các đặc tính hóa lý và khả năng hấp phụ P của than khi được ủ với đất.

2 VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Thu mẫu hiện trường

Mẫu phân chim cút được lấy tại trang trại nuôi cút tại xã Nhị Bình huyện Hóc Môn, Tp HCM. Sau đó loại bỏ tạp chất có trong phân chim cút như: rơm, lông cút, cát nhỏ <5mm và sấy khô 60°C [12].

Đất được lấy tại xã Thạnh Trung, Thành phố Tây Ninh. Mẫu đất được lấy từ khu vực đất phi nông nghiệp. Các mẫu đất được làm khô, qua rây 2 mm, bảo quản trong túi polyetylen sử dụng cho phân tích và cho thí nghiệm ử. Các chỉ tiêu được xác định trên mẫu đất bao gồm: Tỷ trọng theo tiêu chuẩn TCVN 6863:2001; Độ pH theo phương pháp đo pH kế, pH_{pzc} (pH điểm đẳng điện) tham khảo theo nghiên cứu của Trần Thị Tú [13], TOC theo phương pháp Walkley Black [14], xác định CEC theo TCVN 8568:2010, phospho dễ tiêu theo TCVN 5256.

Các hóa chất của Merck sử dụng là: NaH₂PO₄, (NH₄)₆Mo₇O₂₄ 4H₂O, SnCl₂, và của Trung Quốc là KCl, H₂SO₄, NaOH, HNO₃, NaOH.

2.2 Điều chế than sinh học

Sử dụng lò nung Nabertherm P330 (Hoa Kỳ) trong điều kiện nhiệt phân có kiểm soát để điều chế than sinh học mô phỏng theo nghiên cứu trước đó [15]. Các mẫu phân chim cút được điều chế qua quá trình nhiệt phân ở ba nhiệt độ khác nhau: 300, 450 và 600 °C (Bio 300, Bio 450 và Bio 600, tương ứng). Các nhiệt độ nhiệt phân lựa chọn dựa trên mức độ phân hủy các hợp chất hữu cơ có trong chất thải nông nghiệp, cụ thể, nhiệt độ 300°C, bay hơi của các chất hữu cơ nhẹ, 450°C có thể liên quan đến sự phân hủy xenlulo, hemicellulose và lignin, 600°C là phần hữu cơ xenlulo, hemicellulose và lignin còn lại và 900°C là phần tro hóa [16]. Tốc độ gia nhiệt 10 °C/phút đã được sử dụng để đạt đến nhiệt độ mong muốn. Sau khi đạt được nhiệt độ, thời gian 2 giờ được duy trì ở nhiệt độ mục tiêu. Lò nung sau đó đã dừng hoạt động và các mẫu than sinh học được làm nguội bên trong lò qua đêm. Sau đó, than sinh học được sàng qua rây 1 mm để đạt được tính đồng nhất kích thước. Cuối cùng, các dạng than sinh học được lưu trữ riêng biệt trong các túi polyetylen (PE) trong môi trường tối ở 4 °C để sử dụng phân tích và cho thí nghiệm tiếp theo.

2.3 Thí nghiệm ủ đất

Thí nghiệm ủ đất trong cốc nhựa 500 mL trong 60 ngày trong phòng thí nghiệm ở nhiệt độ môi trường (28 ± 2 °C). Cụ thể, mẫu đất đã làm khô trong không khí được cân chính xác 360 g đất và 15 g các dạng than sinh học (Bio 300, 400 và 600 °C) (tỷ lệ than sinh học 4% hay 15g/360 gam đất để đảm bảo pH đất dao động trong khoảng 6,0-7,0 dựa theo các thí nghiệm ủ sơ bộ [17]). Sau đó, các mẫu đất đã được lắc trộn cho đồng nhất. Bổ sung nước cất để đất có độ ẩm 60% và được duy trì bằng cách thêm nước cất bất cứ khi nào cần thiết. Mẫu đất không thêm than sinh học được ủ trong cùng điều kiện được dùng làm mẫu đối chứng [1]. Sau 60 ngày ủ, mẫu đất được làm khô trong không khí, nghiền, qua rây và chứa vào các hủ polyetylen có nắp để dùng cho thí nghiệm hấp phụ. Các nghiệm thức ủ lặp lại 3 lần.

2.4 Thiết kế thử nghiệm

Thí nghiệm hấp phụ của các mẫu đất, được thực hiện dựa trên phương pháp của Han và cộng sự [1]. Quy trình thí nghiệm: 1,5 g đất từ các mẫu đất đã ủ cho vào các ống ly tâm loại 50 mL, bổ sung 30 mL dung dịch có nồng độ P trong khoảng 0,00 đến 400 mg/L (pha trong KCl 0,01 M). Hai giọt chloroform được thêm vào mỗi bình thí nghiệm để ức chế hoạt động vi sinh vật. Lắc và cân bằng các mẫu thí nghiệm bằng máy lắc GFL 3005 (Đức). Tốc độ lắc 300 vòng/phút ở nhiệt độ 27±1°C, 24 giờ (thời gian này đã được xác định sơ bộ là đủ để đạt trạng thái cân bằng). Tách và lọc: Sau khi lắc, tách các pha bằng máy ly tâm DLAB DM0636 (Đức): 5000 vòng/phút, nhiệt độ 28±1, thời gian ly tâm 10 phút và lọc dung dịch sau đó. Hàm lượng P trong dung dịch lọc được xác định theo TCVN 6202: 2008. Dữ liệu thực nghiệm thu được được đánh giá mức độ phù hợp với các phương trình hấp phụ Langmuir và Freundlich để xác định cơ chế hấp phụ P của đất.

Thí nghiệm động học được thực hiện với nồng độ P ban đầu (C₀) là 133 mg P/L, tương tự như quy trình thí nghiệm cân bằng. Quy trình thí nghiệm bao gồm: Thiết lập điều kiện thí nghiệm: Sử dụng 1,5 g các mẫu đất đã ủ, tương tự như thí nghiệm cân bằng. Lấy mẫu theo thời gian tại các thời điểm định trước (0, 30, 60, 120, 240 và 360 phút) trong quá trình thí nghiệm. Các bước tách, lọc, phân tích như thí nghiệm cân bằng

[18]. Dữ liệu thu được từ thí nghiệm động học được sử dụng xác định sự phù hợp theo hai mô hình động học hấp phụ phổ biến: hấp phụ bậc 1 và bậc 2.

2.5 Xử lý dữ liệu thí nghiệm

2.5.1 Tính toán

Các công thức tính toán như hiệu suất thu hồi, các phương trình cân bằng, động học hấp phụ dựa theo nghiên cứu trước đó [15]

Hiệu suất thu hồi than

$$\% \text{ hiệu suất thu hồi} = \frac{\text{khối lượng thu được}}{\text{Khối lượng mẫu vật liệu khô}} * 100 \quad (1)$$

Tính toán

Dung lượng hấp phụ:

$$q_i = \frac{(C_0 - C_i) \cdot V}{m} \quad (2)$$

Trong đó:

Thể tích dung dịch V, L

Khối lượng mẫu đất m, gam

Hàm lượng P ban đầu C_0 , mg/L

Hàm lượng P tại thời điểm cân bằng C_i (mg/L);

Dung lượng hấp phụ P tại thời điểm cân bằng q_i , (mg/gam)

Phương trình theo Langmuir:

$$\frac{1}{q_i} = \frac{1}{K_L q_0} \frac{1}{C_i} + \frac{1}{q_0} \quad (3)$$

Trong đó: Dung lượng hấp phụ P cực đại q_0 (L mg⁻¹).

Hằng số hấp phụ Langmuir K_L (L mg⁻¹).

Phương trình theo Freundlich:

$$q_i = y/m = K_F \cdot C_i^{1/n_F}$$

Hay:

$$\text{Log} q_i = \frac{1}{n_F} \text{log} C_i + \text{log} K_F \quad (4)$$

Các hằng số mô hình: K_F và $1/n_F$

Tính toán động học

Phương trình động học hấp phụ bậc 1:

$$\text{Ln}(q_e - q_t) = -k_1 t + \text{Ln} q_e \quad (5)$$

Phương trình động học hấp phụ bậc 2:

$$\frac{1}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} \frac{1}{t} + \frac{1}{q_e} \quad (6)$$

Trong đó:

t là thời gian khảo sát, phút

q_e dung lượng hấp phụ P tại thời điểm cân bằng (mg gam⁻¹)

q_t dung lượng hấp phụ P tại thời điểm t (mg gam⁻¹)

k_1 và k_2 là hằng số vận tốc hấp phụ giả bậc 1, bậc 2.

2.5.2 Xử lý số liệu

Phương pháp thống kê: Thu thập và xử lý dữ liệu, tất cả dữ liệu thu thập bằng phần mềm Microsoft Excel. Để đảm bảo độ tin cậy của kết quả, phương pháp lặp mẫu được áp dụng trong quá trình phân tích. Các thí

nghiệm được lặp lại 3 lần. Phân tích thống kê, phân tích ANOVA một chiều được thực hiện trong phần mềm SPSS 20.0 để kiểm tra tính đồng nhất của phương sai giữa các nhóm dữ liệu. Khi $p < 0,05$, có thể kết luận rằng có sự khác biệt đáng kể về phương sai giữa các nhóm. Phân tích so sánh trung bình: Sau khi xác định tính đồng nhất của phương sai, phương pháp so sánh trung bình được sử dụng để xác định sự khác biệt giữa các giá trị trung bình của các thí nghiệm. Mối tương quan Pearson được thực hiện trên phần mềm SPSS để đánh giá mối liên hệ giữa các cặp biến trong nghiên cứu.

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Thành phần, tính chất mẫu đất và than sinh học

Bảng 1, cho thấy với giá trị dung trọng là $1,56 \text{ g/cm}^3$ cho thấy đất nghèo mùn và chặt, kết quả tương tự đã tìm thấy trong nghiên cứu của Vũ Thùy Dương và cộng sự cho dung trọng là $1,53 \text{ g/cm}^3$ với đất xám [19]. pH theo thực nghiệm xác định là 5,54. Đất tại nơi nghiên cứu có tỉ trọng là 2,64 thuộc loại đất chặt.

Bảng 1. Các giá trị phân tích mẫu đất

Chỉ tiêu	Kết quả	SD
pH	5,54	0,02
Tỉ trọng	2,64	0,09
Dung trọng, g/cm^3	1,56	0,08
Hàm lượng TOC, %	0,47	0,01
Hàm lượng lân khả dụng, mg/kg	20,74	1

Theo Kiêcxanôp cho thấy mẫu đất nghiên cứu có lân dễ tiêu $20,74 \text{ mg/kg}$ thuộc loại nghèo ($<30 \text{ mg/kg}$), kết quả nghiên cứu tương tự với phân tích của Lộc và cộng sự, trong đất xám ở Bình Dương trong khoảng 3,7 đến $35,3 \text{ mg/kg}$ [20], đất xám tỉnh Phú Thọ $20-45 \text{ mg/kg}$ [21]. Hàm lượng TOC 0,47% thuộc loại có chất hữu cơ thấp, kết quả tương đồng với đất xám tỉnh Phú Thọ dao động 0,5-4,0% [21]

3.2 Hiệu suất thu hồi, một số đặc tính của than sinh học

Số liệu trong Bảng 2, cho thấy hiệu suất thu hồi than giảm dần khi nhiệt độ tăng từ 300°C đến 600°C , lần lượt đạt 61,4%, 51,6% và 48,0%, có thể do sự gia tăng sự bay hơi của các hợp chất hữu cơ trong nguyên liệu ở nhiệt độ cao hơn [15]. Phân tích One-way ANOVA, hiệu suất thu hồi bằng phần mềm SPSS 20 ($p < 0,05$) cho thấy không có sự khác biệt đáng kể về hiệu suất thu hồi giữa than nhiệt phân ở 450°C và 600°C . Điều này cho thấy ở nhiệt độ 450°C , hầu hết các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi đã giảm mạnh dẫn đến hiệu suất thu hồi than không thay đổi nhiều ở nhiệt độ cao hơn.

Theo bảng 2, hàm lượng carbon tổng (TOC) trong than sinh học giảm dần khi nhiệt độ tăng. Ở 300°C , hàm lượng TOC là 24,2%, trong khi ở 600°C , con số này chỉ còn 11,0%. Hiện tượng này được giải thích bởi sự phân hủy ở nhiệt độ cao của các hợp chất hữu cơ. Kết quả này là tương tự với nghiên cứu của Yavari et al., [22]. Phân tích so sánh giá trị trung bình TOC của ba mẫu than sinh học nhiệt phân ở các nhiệt độ khác nhau bằng phần mềm SPSS 20 ($p < 0,05$) cho thấy có sự khác biệt đáng kể về hàm lượng TOC giữa các mẫu than ở các nhiệt độ khác nhau (Bảng 2). Điều này khẳng định rằng nhiệt độ nhiệt phân ảnh hưởng đáng kể đến hàm lượng TOC trong than sinh học.

Bảng 2. Hiệu suất thu hồi và một số tính chất than sinh học

Nhiệt độ nhiệt phân $t^\circ\text{C}$	% Hiệu suất thu hồi	% TOC	pH	pH_{pzc}	CEC, mmol/kg
300	61,4 ^b	24,2 ^c	7,35 ^a	6,99 ^a	179 ^c
SD	0,1	0,5	0,06	0,03	4
450	51,6 ^a	14,2 ^b	10,01 ^b	9,62 ^b	162 ^b

SD	5,9	0,5	0,00	0,04	15
600	48,0 ^a	11,0 ^a	10,76 ^c	10,42 ^c	129 ^a
SD	1,2	0,0	0,07	0,02	8

Sự khác biệt có ý nghĩa khi có các chữ ^{a,b,c,d,e} trong cùng 1 cột.

Bảng 3. Tương quan giữa các thông số thu được từ than sinh học

	t °C	% H	pH	pHpzc	%TOC	CEC, mmol/kg
t °C	1	-0,882**	0,951**	0,862**	-0,96**	-0,911**
%H		1	-0,892**	-0,867**	0,875**	0,602
pH			1	0,966**	-0,998**	-0,811**
pHpzc				1	-0,977**	-0,713*
% TOC					1	0,832**
CEC, mmol/kg						1

** ý nghĩa ở mức 0,01.

* ý nghĩa ở mức 0,05.

Bảng 2 cho thấy pH tăng khi nhiệt độ nung tăng. Cụ thể, pH 7,35; 10,01; 10,76 tương ứng với nhiệt độ 300; 450; 600 °C. Điều này được lý giải chủ yếu là do các nhóm chức axit hữu cơ như -COOH và -OH giảm khi nhiệt độ nung tăng [23]. Kết quả xác định cũng tương đồng với nghiên cứu của Suppadit et al. khi phân chim cút được nung ở 500°C có pH 9,6 [24]. Phân tích các mẫu than sinh học 450°C và 600°C cho thấy tính kiềm của than, chứng tỏ sự mất đi của các nhóm axit hữu cơ trong quá trình nung [25]. Đồng thời, các ion kiềm và kiềm thổ được giữ lại. Kết quả nghiên cứu (Bảng 2) cho thấy pHpzc (điểm đẳng điện) của than sinh học tăng khi nhiệt độ nung tăng. Cụ thể, pHpzc tăng từ 6,99 (450°C) lên 10,42 (600°C). Phân tích thống kê One-way ANOVA cho thấy pHpzc của 3 mẫu than sinh học là khác biệt đáng kể. Điều này khẳng định thêm ảnh hưởng to lớn của nhiệt độ nung đến các thông số pH và pHpzc của than sinh học. Bảng 2, cho thấy CEC giảm khi tăng nhiệt độ, cụ thể lần lượt là 179, 162 và 129 mmol/kg tương ứng với than được điều chế ở 300, 450 và 600°C. Kết quả là cao hơn trong nghiên cứu của Suppadit et al. (65 mmol/kg) có thể do chủng loại thức ăn sử dụng, cách điều chế than (500°C và giữ trong 5 giờ) [24]. Bảng 3 cho thấy nhiệt độ nung có mối tương quan nghịch chặt với %H, TOC và CEC lần lượt là 0,88; 0,96 và 0,911 (p<0,01), điều này cho thấy khi nhiệt độ tăng việc mất nước, các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi làm giảm khối lượng than sinh học thu được và kéo theo TOC giảm. Hơn nữa, khi nhiệt độ nung tăng là giảm các nhóm chức chứa Oxy, kéo theo CEC giảm. Ngược lại, pH, pHpzc lại có mối tương quan dương với nhiệt độ nung lần lượt là 0,951 và 0,862 (p<0,01), cho thấy có sự suy giảm các nhóm chức axit yếu trên bề mặt than sinh học.

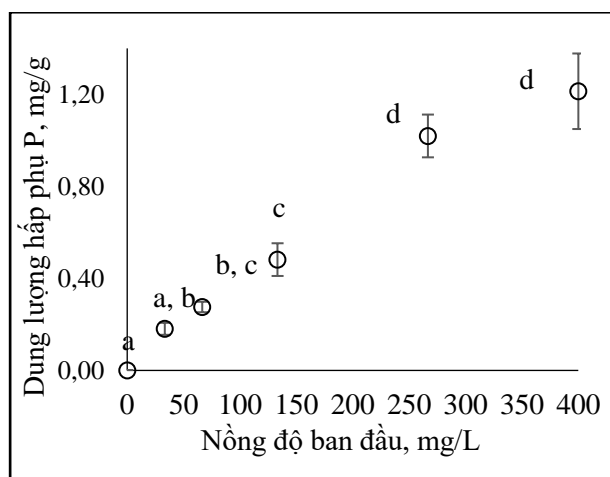
3.3 Ảnh hưởng của nồng độ P ban đầu

Ảnh hưởng của nồng độ P ban đầu (C₀): Theo nghiên cứu, dung lượng hấp phụ photpho (q) của đất Acrisol Tây Ninh (không bổ sung than sinh học) tăng dần từ 0 lên 1,20 mgP/g khi nồng độ P ban đầu (C₀) tăng trong khoảng 0 - 400 mg/L theo P (Hình 1a). Điều này cho thấy khả năng hấp thụ P của đất tăng theo nồng độ P trong dung dịch, tuy nhiên có dấu hiệu bão hòa khi C₀ cao. Khi phân tích thống kê dung lượng hấp phụ, kết quả phân tích thống kê trên phần mềm SPSS 20 cho thấy không có sự khác biệt đáng kể về dung lượng hấp phụ P giữa các nồng độ đầu 266 và 400 mg/L theo P. Điều này cũng củng cố thêm cho nhận định về xu hướng bão hòa hấp phụ P của đất Acrisol Tây Ninh ở nồng độ cao. Mô hình hóa quá trình hấp phụ, việc áp dụng các mô hình Langmuir và Freundlich để mô tả quá trình hấp thụ P cho thấy sự phù hợp cao của cả hai mô hình với dữ liệu thực nghiệm (Bảng 4). Mô hình Langmuir cho hệ số tương quan (R²) = 0,95; hằng

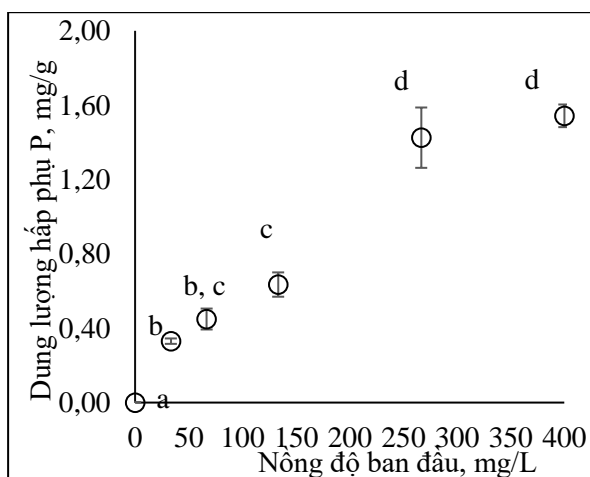
số Langmuir (K_L) = 0,008 L/mg, dung lượng hấp phụ tối đa (q_0) = 1,19 mgP/g. Kết quả thu từ mô hình Langmuir ($q_0 = 1,19$ mgP/g) gần sát với giá trị thực nghiệm $q_{(TN)} = 1,21$ mgP/g, cho thấy tính chính xác cao của mô hình này trong việc dự đoán q_0 của đất Acrisol Tây Ninh. Bên cạnh đó, mô hình Freundlich cho $R^2 = 0,98$; hằng số hấp phụ Freundlich (K_F) = 0,02 mg/g; (n_F) = 1,38 ($n_F > 1$), cho thấy quá trình hấp phụ P diễn ra thuận lợi trên đất Acrisol của Tây Ninh. Do đó, cả hai mô hình Langmuir và Freundlich đều phù hợp để mô tả quá trình hấp phụ photpho của đất Acrisol (Tây Ninh). Kết quả nghiên cứu này cung cấp thông tin hữu ích để đánh giá khả năng giữ P của loại đất này và hỗ trợ việc sử dụng hợp lý phân bón photpho trong sản xuất nông nghiệp. Trong trường hợp với đất ủ than sinh học 300°C (Hình 1b), cho thấy khi C_0 tăng trong khoảng 0 - 400 mgP/L thì q tăng từ 0 lên 1,54 mgP/g. Kết quả phân tích One-way ANOVA cho thấy q thay đổi là không đáng kể khi C_0 ở 266 và 400 mgP/L (Hình 1b). Điều này cho thấy quá trình đã đạt trạng thái bão hòa theo dãy nồng độ ban đầu. Kết quả tính toán theo mô hình Langmuir (Bảng 4), với $R^2 = 0,94$; $K_L=0,006$ L/mg; $q_0=1,54$ mgP/g (phù hợp với kết quả thí nghiệm) và mô hình Freundlich có $R^2 = 0,99$; $K_F=0,03$ mg/g; $n_F = 1,46$ là phù hợp.

Với mẫu đất ủ với 4 % than sinh học được nhiệt phân ở 450 °C (Hình 1c), cho thấy khi C_0 tăng trong khoảng 0 - 400 mgP L-1 thì dung lượng hấp phụ q tăng từ 0 lên 0,65 mgP/g. Kết quả phân tích sự sai khác các giá trị trung bình của q (mg/g) theo nồng độ P ban đầu của mẫu than nung ở nhiệt độ 300 °C trên SPSS 20 cho thấy là không đáng kể khi C_0 ở 133, 266 và 400 mgP L-1 (Hình 1c) cho thấy quá trình đã đạt trạng thái bão hòa theo dãy nồng độ ban đầu. Kết quả tính toán các thông số hấp phụ cho thấy quá trình hấp phụ P lên đất Acrisol của Tây Ninh bổ sung 4% than 450° theo mô hình Langmuir có $R^2 = 0,96$; $K_L=0,04$ L/mg; $q_0=0,68$ mgP/g (phù hợp với kết quả thí nghiệm) và mô hình Freundlich có $R^2 = 0,97$; $K_F=0,16$ mg/g; $n_F = 4,07$.

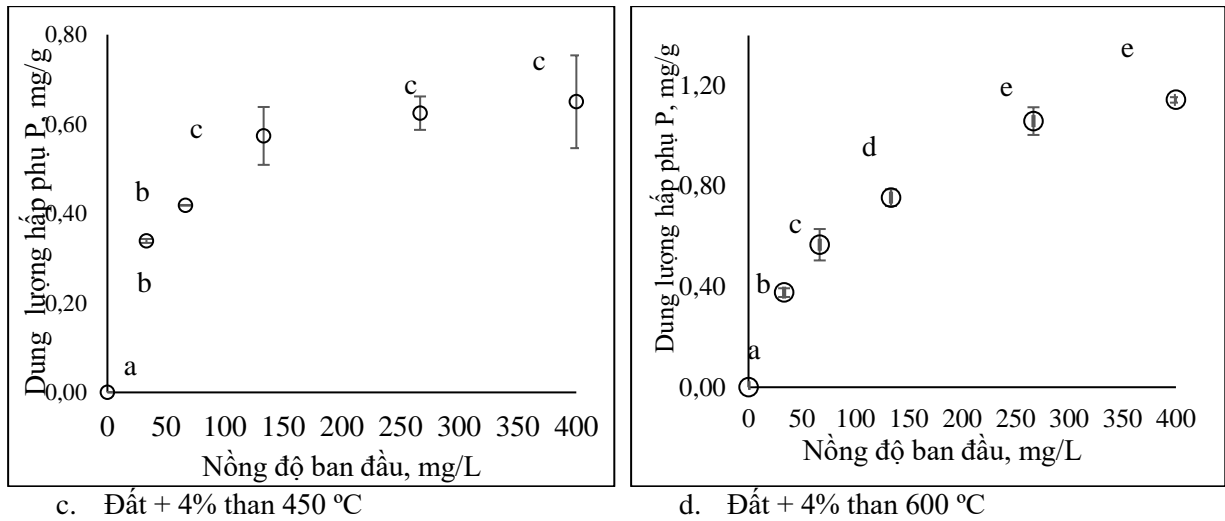
Khả năng hấp phụ lân của đất ủ với 4% than sinh học nung ở 600°C: theo nghiên cứu, q của đất ủ với 4% than sinh học nung ở 600°C (Hình 2d) tăng dần từ 0 lên 1,14 mg/g khi nồng độ P ban đầu (C_0) tăng trong khoảng 0 - 400 mg/L theo P. Điều này cho thấy dung lượng hấp phụ P của đất ủ với than sinh học 600°C tăng theo nồng độ P trong dung dịch, tuy nhiên có dấu hiệu bão hòa khi C_0 cao. Dấu hiệu hấp phụ bão hòa được củng cố bởi kết quả phân tích thống kê trên phần mềm SPSS 20. Phân tích cho thấy không có sự khác biệt đáng kể về dung lượng hấp phụ P giữa các nồng độ đầu 266 và 400 mg/L theo P đối với đất ủ với than sinh học 600°C. Điều này khẳng định xu hướng bão hòa hấp phụ P của loại đất này ở nồng độ cao. Kết quả tính toán các thông số hấp phụ cho thấy quá trình hấp phụ P lên đất ủ với 4 % than sinh học 600 °C với mô hình Langmuir có $R^2 = 0,97$, $K_L=0,03$ L/mg $q_m=1,12$ mg/g (phù hợp với kết quả thí nghiệm) và mô hình Freundlich có $R^2 = 0,99$; $K_F=0,14$ mg/g; $n_F = 2,71$ (Bảng 4).



a. Đất



b. Đất + 4% than 300 °C



Hình 1. Dung lượng hấp phụ P của đất và đất ủ.

Các chữ ^{a,b,c,d,e} thể hiện sự khác biệt đáng kể

Kết quả thực nghiệm và tính toán dựa trên mô hình Langmuir, Bảng 4, cho thấy với đất ủ với than sinh học được nhiệt phân ở 300°C làm tăng dung lượng hấp phụ của đất từ 1,21 lên 1,54 mg/g (thực nghiệm), từ 1,19 lên 1,73 mg/g (tính toán). Nguyên nhân có thể do chênh lệch giá trị pH được đo, mẫu đất sau cân bằng hấp phụ P là 5,5 trong khi với mẫu có 4% than sinh học 300°C cho pH dao động 6,7-7,0. Ở pH này các hợp chất như carboxyl, OH⁻ có trong than sinh học tích điện dương (pHpzc 6,99) sẽ góp phần tăng dung lượng hấp phụ lân từ dung dịch. Tuy nhiên, khi mẫu đất chứa than ở 450 và 600°C thì quá trình hấp phụ lân trong đất so với đất không ủ với than sinh học và than 300°C. Điều này có thể được lý giải do pH mẫu đất phối tăng khi cân bằng, cụ thể với mẫu đất chứa than 450°C pH là 7,0 – 7,3 lớn hơn pHpzc (6,99) nên bề mặt than tích điện âm, các hợp chất như carboxyl, OH⁻ cạnh tranh với P ở các vị trí hấp phụ trong đất. Nhưng với mẫu đất chứa than 600°C (pH đo 7,3-7,5) dung lượng hấp phụ tăng lên so với mẫu đất chứa than 450°C, có thể là do hàm lượng hữu cơ trong than giảm khi tăng nhiệt độ, kết quả cũng tương đồng với nghiên cứu của Trần Thị Tuyết Thu & Hoàng Thị Minh Lý kết luận rằng đất giàu chất hữu cơ thì hấp phụ photpho thấp [26], cụ thể, TOC trong than được điều chế ở nhiệt độ 450 °C có TOC cao nhất 14,2 % so với ở 600 °C là 11,0%.

3.4 Bảng 4. Các thông số hấp phụ P

	Mẫu đất phối	Các thông số		R ²	q(TN)
		q ₀ (mg/g)	K _L		
Mô hình Langmuir	Đất	1,19	0,008	0,95	1,21
	Đất + 4% Than 300 °C	1,73	0,006	0,94	1,54
	Đất + 4% Than 450 °C	0,68	0,040	0,96	0,65
	Đất + 4% Than 600 °C	1,12	0,030	0,97	1,14
Mô hình Freundlich	Mẫu đất phối	n _F	K _F	R ²	
	Đất	1,381	0,018	0,980	
	Đất + 5% Than 300 °C	1,458	0,026	0,990	
	Đất + 5% Than 450 °C	4,065	0,160	0,970	
	Đất + 5% Than 600 °C	2,710	0,139	0,990	

q(TN): dung lượng hấp phụ P thực nghiệm, mgP/g;

Phương trình đẳng nhiệt Langmuir cho thấy rằng các vị trí hoạt động trên bề mặt của chất hấp phụ được phân bố đồng đều và quá trình hấp phụ đơn lớp diễn ra trên bề mặt. Mô hình đẳng nhiệt Freundlich giả định rằng sự hấp phụ xảy ra trên bề mặt không đồng nhất. Với giả định như trên thì quá trình hấp phụ lên mẫu đất và mẫu đất ủ với 4% các dạng than bị chi phối bởi cả hai quá trình là hấp phụ vật lý và hấp phụ hóa học.

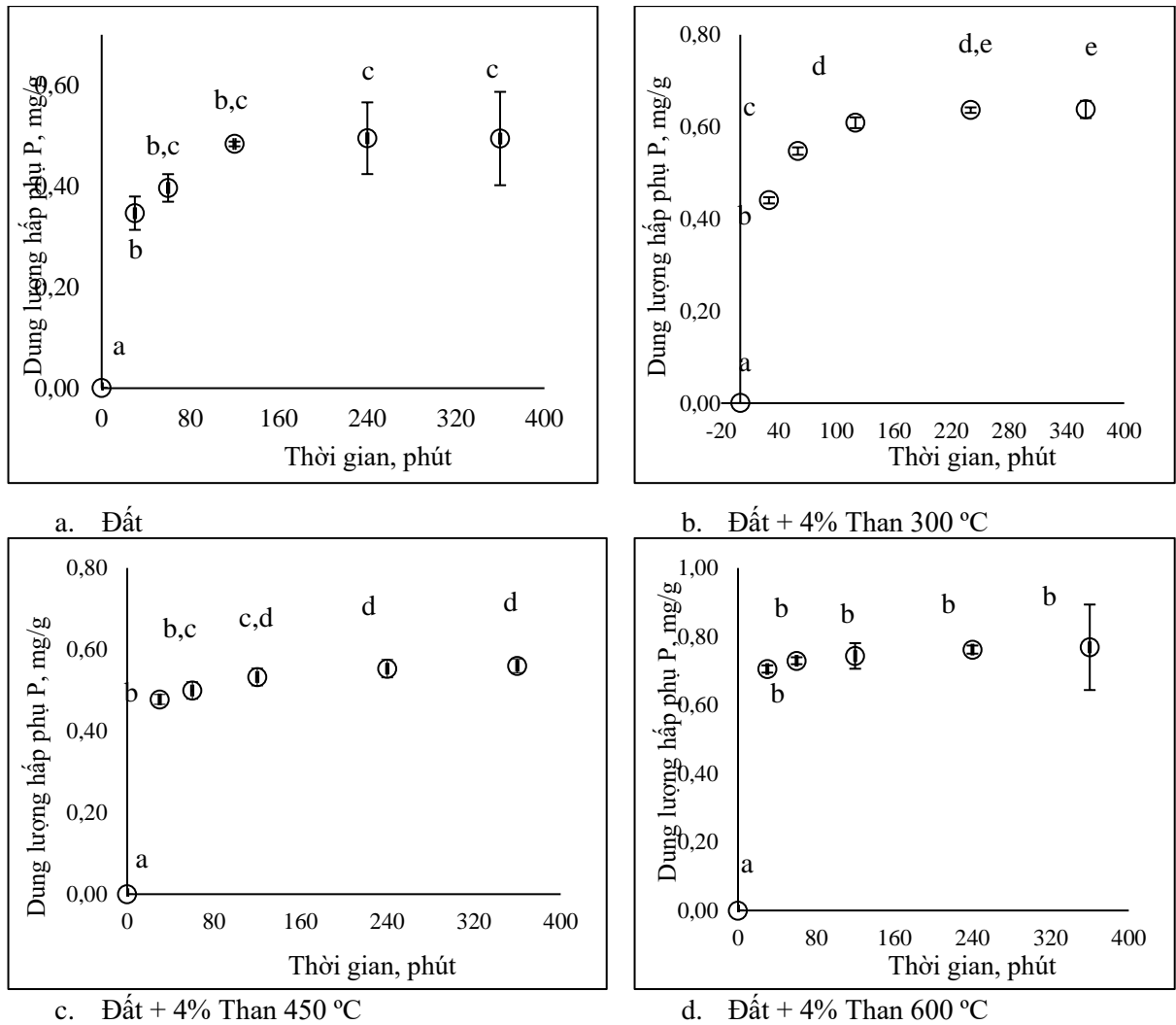
Kết quả nghiên cứu cho thấy với mẫu đất Acrisol của Tây Ninh khi phối trộn với 4% than sinh học được nhiệt phân từ phân chim cút ở các nhiệt độ khác nhau đã không cho thấy xu hướng rõ ràng trong hấp phụ lân. Kết quả nghiên cứu cũng tương đồng với nghiên cứu của Hollister et al., [27] và của Yao et al., ở 200, 450 và 600 °C [28].

3.5 Động học hấp phụ P

Dữ liệu động học, Hình 2, Bảng 5, cho thấy ở hàm lượng C_0 khảo sát sự hấp phụ P tăng nhanh trong 30 phút đầu tiên ở hầu hết các mẫu nghiên cứu, tăng chậm và đạt bão hòa trong 90 phút kế tiếp với các mẫu đất không bổ sung than (Hình 2a), đất ủ với than 300 (Hình 3b) và 450°C (Hình 2c). Riêng mẫu đất ủ với than 600°C đạt trạng thái bão hòa sau 30 phút (Hình 3d). One-way ANOVA trên SPSS 20 cũng đã khẳng định ở 30 phút là khác biệt đáng kể so với ban đầu. Trong khi, các giá trị dung lượng hấp phụ sau 90 phút tăng không đáng kể, đặc biệt, mẫu đất ủ với than 600°C các giá trị dung lượng hấp phụ sau 30 phút tăng không đáng kể, Hình 2d.

Quá trình hấp phụ có thể làm ba giai đoạn khác nhau: (1) sự khuếch tán màng lỏng thúc đẩy sự chuyển P từ dung dịch đến bề mặt của than sinh học (0–30 phút) và các vị trí hấp phụ của than sinh học rất nhiều và dễ dàng tương tác P; (2) khi các vị trí hấp phụ trống còn lại và nồng độ chất tan giảm, sự khuếch tán trong hạt dần dần chậm lại (45–90 phút) và (3) khi các vị trí hấp phụ hoàn toàn bão hòa, phản ứng hấp phụ đạt trạng thái cân bằng (120–360 phút). Căn cứ vào các dữ liệu thực nghiệm cho thấy vận tốc hấp phụ được kiểm soát bởi giai đoạn 3, khuếch tán vào bên trong.

Đánh giá động học hấp phụ photpho: Để hiểu rõ hơn về cơ chế và tốc độ hấp thụ photpho (P) lên đất ủ với than sinh học, các mô hình động học đã được áp dụng. Kết quả tính toán R^2 và q_e (Bảng 5) cho thấy mô hình bậc 2 phù hợp nhất để mô tả quá trình hấp phụ P trong các trường hợp này. Về giải thích sự phù hợp của mô hình bậc 2: Mô hình bậc 2 thể hiện mối quan hệ phi tuyến tính giữa tốc độ hấp phụ P và nồng độ P còn lại trong dung dịch. Điều này phù hợp với thực tế rằng quá trình hấp phụ P lên than sinh học có thể bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, bao gồm diện tích bề mặt, cấu trúc lỗ rỗng, và tính chất hóa học của than sinh học, cũng như nồng độ P trong dung dịch. Do đó, việc sử dụng mô hình động học bậc 2 để mô tả động học hấp phụ P trong nghiên cứu cho thấy quá trình này diễn ra theo cơ chế phức tạp, phụ thuộc vào nhiều yếu tố. Mô hình này có thể được sử dụng để dự đoán hiệu quả hấp thụ P của than sinh học trong các ứng dụng thực tế, góp phần tối ưu hóa việc sử dụng loại vật liệu này trong cải tạo đất và quản lý dinh dưỡng cây trồng. Cụ thể, với mô hình động học bậc 1, các hệ số tương quan cao (R^2 dao động 0,90 – 0,98 ngoài trừ mẫu đất không bổ sung than là 0,68). Tuy nhiên, $q(TN)$ của mẫu đất và mẫu đất ủ với than 300, 450, 600°C có q_e lần lượt 0,50; 0,74; 0,72 và 0,76 mg/g là rất khác so với giá trị tính toán từ mô hình 0,26; 0,21; 0,24 và 0,08 mg/g, Bảng 5. Mô hình động học bậc 2 phù hợp hơn khi so sánh với mô hình động học bậc 1, mô hình động học bậc 2 cho thấy độ phù hợp cao hơn trong việc mô tả quá trình hấp phụ photpho (P) lên đất và đất ủ với 4% các dạng than sinh học. Điều này được thể hiện qua hệ số tương quan cao R^2 dao động từ 0,92 đến 0,96 (Bảng 5). Hơn nữa, q_e tính toán từ mô hình động học bậc 2 cũng gần sát với $q(TN)$ (Bảng 5). Điều này cho thấy mô hình này có khả năng dự đoán chính xác dung lượng hấp phụ P của đất và đất ủ với than sinh học. Kết quả nghiên cứu cho thấy cơ chế hấp phụ P lên đất và đất ủ với 4% các dạng than sinh học chủ yếu là quá trình hấp phụ hóa học. Các liên kết chủ yếu bao gồm cộng kết, liên kết hydro và trao đổi ion. Mối tương quan cao giữa R^2 và hằng số vận tốc k_2 lớn hơn (0,462 so với 0,312; 0,092 và 0,052) là bằng chứng rõ ràng cho cơ chế này. Các mẫu đất ủ với than có nhiệt độ nung cao hơn cho thấy hệ số R^2 và hằng số k_2 cao hơn. Điều này cho thấy tốc độ hấp phụ P lên đất ủ với than sinh học tăng theo nhiệt độ nung của than.



Hình 2. Dung lượng hấp phụ P theo t (phút). Các chữ ^{a,b,c,d,e} khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê

Bảng 5. Thông số động học

Mô hình	Nhiệt độ nung	q_e (mg/g)	Hằng số động học	q (TN)	R^2
Giả bậc 1	Đất	0,259	$k_1 = 0,002$	0,501	0,682
	Đất + 4% than 300°C	0,208	$k_1 = 0,014$	0,642	0,903
	Đất + 4% than 450°C	0,240	$k_1 = 0,001$	0,561	0,972
	Đất + 4% than 600°C	0,076	$k_1 = 0,006$	0,760	0,981
Giả bậc 2	Đất	0,524	$k_2 = 0,052$	0,500	0,962
	Đất + 4% than 300°C	0,680	$k_2 = 0,092$	0,641	0,923
	Đất + 4% than 450°C	0,562	$k_2 = 0,312$	0,562	0,931
	Đất + 4% than 600°C	0,768	$k_2 = 0,462$	0,764	0,950

q (TN): giá trị dung lượng thu từ thực nghiệm

4 KẾT LUẬN

Nghiên cứu này cho thấy mối tương quan dương có ý nghĩa giữa nhiệt độ và hóa học bề mặt sinh học, bằng chứng là tăng giá trị pH và pH_{PZC} với nhiệt độ tăng. Ngược lại, hiệu quả thu hồi, TOC và CEC thể hiện mối tương quan âm với nhiệt độ nhiệt phân. Quá trình hấp phụ P được mô tả tốt bởi cả hai phương trình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich với khả năng hấp phụ tối đa của mẫu đất ủ với than sinh học 300°C là cao nhất 1,73 mg/g. Mô hình động học giả bậc hai cung cấp giải thích phù hợp nhất để giải thích cơ chế hấp phụ P của mẫu đất khi ủ với cả 3 dạng than sinh học. Phát hiện của nghiên cứu đã xác nhận rằng mẫu đất Arisols ở Tây Ninh ủ với than sinh học điều chế từ phân chim cút ở 300 °C có khả năng hấp phụ lân cao hơn 45,4% so với mẫu đất đối chứng (không bổ sung than sinh học). Những kết quả này cho thấy tiềm năng chiến lược trong tái sử dụng chất thải chăn nuôi để cải thiện tính khả dụng của P của đất Acrisol cho sản xuất nông nghiệp là có cơ sở.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này đã nhận được hỗ trợ tích cực của các em sinh viên DHKHMT 12A. Nhóm tác giả cũng cảm ơn những người đánh giá ẩn danh đã góp ý rất hữu ích để bài báo nghiên cứu được hoàn chỉnh hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Y. Han, Choi B., and Chen X., Adsorption and desorption of phosphorus in biochar-amended black soil as affected by freeze-thaw cycles in northeast China. *Sustainability*, **10**(5): p. 1574, 2018.
2. J. Lopez-Bucio, de la Vega O.M., Guevara-Garcia A., and Herrera-Estrella L., *Enhanced phosphorus uptake in transgenic tobacco plants that overproduce citrate*. *Nature biotechnology*, **18**(4): p. 450-453, 2000.
3. M.I. Piash, Hossain M.F., and Parveen Z., Physico-chemical properties and nutrient content of some slow pyrolysis biochars produced from different feedstocks. *Bangladesh Journal of Scientific Research*, **29**(2): p. 111-122, 2016.
4. X. Yang, Zhang S., Ju M., and Liu L., Preparation and modification of biochar materials and their application in soil remediation. *Applied Sciences*, **9**(7): p. 1365, 2019.
5. L.W. Ngatia, Grace III J.M., Moriasi D., Bolques A., Osei G.K., and Taylor R.W., Biochar phosphorus sorption-desorption: Potential phosphorus eutrophication mitigation strategy, in *Biochar-An Imperative Amendment for Soil and the Environment*. 2019, IntechOpen. p. 1-15.
6. T. Sizmur, Fresno T., Akgül G., Frost H., and Moreno-Jiménez E., *Biochar modification to enhance sorption of inorganics from water*. *Bioresource technology*, **246**: p. 34-47, 2017.

7. A. Khalil, Sergeevich N., and Borisova V., Removal of ammonium from fish farms by biochar obtained from rice straw: Isotherm and kinetic studies for ammonium adsorption. *Adsorption Science & Technology*, **36**(5-6): p. 1294-1309, 2018.
8. P. Trazzi, Leahy J.J., Hayes M.H., and Kwapinski W., *Adsorption and desorption of phosphate on biochars*. *Journal of environmental chemical engineering*, **4**(1): p. 37-46, 2016.
9. D.N. Alfiyanti, Chilmawati D., and Harwanto D. The Effect of Difference Dose Quail Manure Fertilizer on The Population Growth of Daphnia sp. that Cultured in Soy Stew Water. in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. IOP Publishing.
10. N.T. Thịnh, Hiếu T.Q., Hàn L.V.N., Dân T.T., Tuấn N.N., and Hoa H.T.K., *Sử dụng các chế phẩm vi sinh vật hữu hiệu để hạn chế ô nhiễm môi trường từ chăn nuôi gia cầm*. KHOA HỌC KỸ THUẬT THỦ Y, **XXVI**(5): p. 63-70, 2019.
11. N. Tho and Hoa N.T., Characteristics of soil acidification of haplic Acrisols on ancient alluvial deposits under intensive cassava cultivation in Chau Thanh district, Tay Ninh province. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, **39**(2): p. 130-138, 2017.
12. Y.K. Kiran, Barkat A., CUI X.-q., Ying F., PAN F.-s., Lin T., and YANG X.-e., Cow manure and cow manure-derived biochar application as a soil amendment for reducing cadmium availability and accumulation by Brassica chinensis L. in acidic red soil. *Journal of integrative agriculture*, **16**(3): p. 725-734, 2017.
13. T.T. Tú, *Đặc điểm hóa lý của than sinh học điều chế từ vỏ trấu*. Tạp chí Khoa học-Đại học Huế, **120**: p. 233-247, 2016.
14. K.H. Tan, *Soil sampling, preparation, and analysis*. 2005: CRC press.
15. N.V. Phuong, Hoang N.K., Luan L.V., and Tan L., Evaluation of NH₄⁺ Adsorption Capacity in Water of Coffee Husk-Derived Biochar at Different Pyrolysis Temperatures. *International Journal of Agronomy*, **2021**(1): p. 1463814, 2021.
16. A. Mlonka-Mędrala, Evangelopoulos P., Sieradzka M., Zajemska M., and Magdziarz A., Pyrolysis of agricultural waste biomass towards production of gas fuel and high-quality char: Experimental and numerical investigations. *Fuel*, **296**: p. 120611, 2021.
17. N.K. Hoang, Van Phuong N., and Long L.B., Potential solution in sustainable agriculture: improving the pH and pH buffering capacity of gray soil Acrisol from Cu Chi, Ho Chi Minh City, Vietnam using biochar combined with bentonite. *SAINS TANAH-Journal of Soil Science and Agroclimatology*, **20**(1): p. 87-93, 2023.
18. K.H. Tan, *Principles of soil chemistry, Fourth Edition*. 2011, Taylor & Francis Group: Taylor and Francis Group, LLC.
19. D.T. Vu, Nguyen K.M., Nguyen N.T.H., Nguyen P.N., Nguyen D.T., and Duong X.H., *Impact of biochar on the water holding capacity and moisture of basalt and grey soil*. *ENGINEERING AND TECHNOLOGY*, **7**(1), 2017.
20. T.n.T. Lộc, Xác định hàm lượng lân trong đất ở nông trường cao su Nhà Nai, Bình Dương bằng phương pháp trắc quang. *Tạp chí Khoa học*, (47): p. 61, 2013.
21. H. Nguyễn Hoàng, Đánh giá thực trạng dinh dưỡng trên đất xám bạc màu ở các kiểu canh tác khác nhau tại huyện Cẩm Khê, tỉnh Phú Thọ. 2018.
22. S. Yavari, Malakahmad A., and Sapari N.B., Effects of production conditions on yield and physicochemical properties of biochars produced from rice husk and oil palm empty fruit bunches. *Environmental Science and Pollution Research*, **23**: p. 17928-17940, 2016.
23. J. Zhang, Liu J., and Liu R., Effects of pyrolysis temperature and heating time on biochar obtained from the pyrolysis of straw and lignosulfonate. *Bioresource Technology*, **176**: p. 288-291, 2015.
24. T. Suppadit, Phumkokrak N., and Pongsuk P., *The effect of using quail litter biochar on soybean (Glycine max [L.] Merr.) production*. *Chilean Journal of Agricultural Research*, **72**(2): p. 244, 2012.
25. J. Zhang, Huang B., Chen L., Li Y., Li W., and Luo Z., Characteristics of biochar produced from yak manure at different pyrolysis temperatures and its effects on the yield and growth of highland barley. *Chemical Speciation & Bioavailability*, **30**(1): p. 57-67, 2018.

26. T.T.T. Trần and Hoàng T.M.L., *Nghiên cứu khả năng hấp phụ và cung cấp photpho dễ tiêu cho cây cam ở huyện Cao Phong, tỉnh Hòa Bình*. VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences, **32**(1S), 2016.
27. C.C. Hollister, Bisogni J.J., and Lehmann J., Ammonium, nitrate, and phosphate sorption to and solute leaching from biochars prepared from corn stover (*Zea mays* L.) and oak wood (*Quercus* spp.). *Journal of environmental quality*, **42**(1): p. 137-144, 2013.
28. Y. Yao, Gao B., Zhang M., Inyang M., and Zimmerman A.R., Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere*, **89**(11): p. 1467-1471, 2012.

PHOSPHORUS ADSORPTION OF HAPPLIC ACRISOLS (TAY NINH) AMENDED WITH BIOCHAR DERIVED FROM QUAIL DUNG

NGUYEN VAN PHUONG, NGUYEN KHANH HOANG*

Institute of Environmental Science, Engineering and Management, Industrial University of Ho Chi Minh City

**Corresponding author: nguyengkhanhhoang@iuh.edu.vn*

ABSTRACT: Phosphorus (P) is crucial for plant development. A study on the use of quail manure-derived biochar on the phosphorus adsorption capacity of Haplic Acrisols soil samples (Tay Ninh) was conducted. Soil incubation experiments with various forms of biochar (pyrolyzed at 300, 450, and 600°C) at a ratio of 4% w/w for 60 days with maintained moisture of 60% were performed. The incubated samples were air-dried, sieved, and used for adsorption experiments. Soil samples were exposed to P solutions with concentrations ranging from 0 to 400 mg/L, and adsorption kinetics at different time points were also examined. The results showed that the adsorption data followed both the Langmuir and Freundlich isotherm equations, with the highest P adsorption capacity observed in soil amended with 300°C biochar (1.73 mg/g). The pseudo-second-order kinetic model was more suitable for the P adsorption process. The chemical adsorption mechanism involved chemical interactions between phosphate ions and biochar forms. These findings suggest the potential application of 300°C biochar to enhance phosphorus adsorption capacity in Haplic Acrisols soil samples in Tay Ninh province is feasibility).

Keywords: Acrisols soil, adsorption, available P, quail manure, biochar

Ngày nhận bài: 13/5/2024

Ngày nhận đăng: 24/3/2025