VNU Journal of Science: Natural Sciences and Technology

Journal homepage: https://js.vnu.edu.vn/NST

Original Article

Preparation of Activated Carbon from Cassava Stem as an Adsorbent of Antibiotics Pollutants in Water

Nguyen Thi Phuong Le Chi[1,*], Mai Hung Thanh Tung[2], Nguyen Thi Lan[3], Hoang Thu Trang[4], Le Dinh Tam[3], Tran Thi Thu Phuong[3], Ngo Kim Khue[3], Nguyen Thi Dieu Cam[3]

[1]*Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment, 236B Le Van Sy, Ho Chi Minh City, Vietnam*

[2]*HCMC University of Industry and Trade, 140 Le Trong Tan, Ho Chi Minh City, Vietnam*

[3]*Quy Nhon University, 170 An Duong Vuong, Quy Nhon City, Vietnam*

[4]*VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam*

Received 04th April 2024
Revised 29th September 2024; Accepted 28th October 2024

Abstract: The aim of this research was to prepare activated carbon from cassava stem by chemical activation method using potassium hydroxide as activating agent with different pyrolysis temperatures (500, 600, 700 và 800 ^{o}C). All activated carbon samples (AC) provide the higher specific surface area than the non-activated carbon sample. The activated carbon (AC-7) sample prepared at 700 ^{o}C with the maximum specific surface area of 1643 m^2/g and pore volume of 1.0293 cm^3/g. The obtained activated carbon was used in the removal of tetracycline (TC) in water. The maximum adsorption capacity of AC-7 for TC reachered 357,14 mg/g. This value was higher other materials, the improved adsorption capacity of AC-7 could be explained the presence of mesopores with high specific surface area after KOH activation could be significantly improved the adsorption performance of the activated carbon materials. The result show the potential of AC in removing polluted antibiotics.

Keywords: Activated carbon, cassava stem, potassium hydroxide, adsorption, tetracycline.

* Corresponding author.
E-mail address: nguyenthiphuonglechi@gmail.com

https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.5611

Nghiên cứu chế tạo than hoạt tính từ thân cây sắn nhằm hấp phụ chất kháng sinh trong nước

Nguyễn Thị Phương Lệ Chi[1,*], Mai Hùng Thanh Tùng[2], Nguyễn Thị Lan[3], Hoàng Thu Trang[4], Lê Đinh Tâm[3], Trần Thị Thu Phương[3], Ngô Kim Khuê[3], Nguyễn Thị Diệu Cẩm[3]

[1]*Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh, 236B Lê Văn Sỹ, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam*

[2]*Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh, 140 Lê Trọng Tấn, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam*

[3]*Trường Đại học Quy Nhơn, 170 An Dương Vương, Quy Nhơn, Việt Nam*

[4]*Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 04 tháng 4 năm 2024
Chỉnh sửa ngày 29 tháng 9 năm 2024; Chấp nhận đăng ngày 28 tháng 10 năm 2024

Tóm tắt: Mục đích của nghiên cứu này là điều chế than hoạt tính từ thân cây sắn bằng tác nhân hoạt hóa potassium hydroxide và nhiệt phân ở các nhiệt độ khác nhau (500, 600, 700 và 800 ^oC). Tất cả các mẫu than sau khi hoạt hóa (AC-x) đều có diện tích bề mặt riêng cao hơn so với mẫu than không hoạt tính. Trong đó mẫu than hoạt hóa ở 700 ^oC (AC-7) có diện tích bề mặt riêng và thể tích mao quản lớn nhất (1643 m^2/g và 1,0293 cm^3/g). Các vật liệu than hoạt tính được sử dụng để hấp phụ kháng sinh tetracycline (TC) trong nước, dung lượng hấp phụ cực đại của AC-7 đối với kháng sinh TC đạt 357,14 mg/g, giá trị này cao hơn so với các vật liệu than còn lại. Khả năng hấp phụ của AC-7 được cải thiện nhờ có diện tích bề mặt riêng cao và thể tích lỗ xốp lớn được hình thành trong quá trình hoạt hóa bởi KOH dẫn đến có khả năng hấp phụ TC cao hơn. Kết quả này cho thấy tiềm năng của than hoạt tính trong việc loại bỏ các chất kháng sinh ô nhiễm.

Từ khóa: Than hoạt tính, thân sắn, potassium hydroxide, hấp phụ, tetracycline.

1. Mở đầu

Than hoạt tính là một trong những chất hấp phụ lâu đời nhất và được sử dụng rộng rãi để xử lý nước và nước thải với nhiều mục đích như loại bỏ màu, mùi, vị không mong muốn và các tạp chất hữu cơ, vô cơ,… [1-3]. Than hoạt tính có thể được điều chế bằng cách nhiệt phân nguyên liệu chứa carbon như thực vật. Trong khi đó, sắn là loại cây lương thực có đặc tính nông học dễ trồng, là một trong những cây trồng có khả năng chịu hạn tốt nhất và thích nghi được với nhiều loại đất và nhiều vùng sinh thái khác nhau. Hiện nay, cây sắn được trồng nhiều ở vùng Nam Trung Bộ và Tây Nguyên. Lượng phụ phẩm thân cây sắn bị loại bỏ sau khi trồng sắn là khá lớn, khác với phụ phẩm của các cây lương thực khác như lúa, ngô, lạc,... được sử dụng trong chăn nuôi, thân cây sắn gần như chỉ thải bỏ/đốt bỏ sau mỗi vụ mùa. Trong khi đó, sắn có thể tận dụng để chế tạo ra than hoạt tính có giá trị kinh tế [4-7], góp phần hạn chế ô nhiễm môi trường do lượng dư phụ phẩm nông nghiệp gây ra.

* Tác giả liên hệ.
Địa chỉ email: nguyenthiphuonglechi@gmail.com

https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.5611

Tính chất hấp phụ của than hoạt tính phụ thuộc nhiều vào cấu trúc, đặc tính hóa học bề mặt của than, tức là phụ thuộc vào nguồn nguyên liệu ban đầu và phương thức hoạt hóa chúng. Quá trình điều chế thường gồm 2 bước: than hóa và hoạt hóa trong môi trường yếm khí. Hai bước này có thể thực hiện trong cùng một giai đoạn hoặc hai giai đoạn với bước than hóa trước và hoạt hóa sau. Tác nhân hoạt hóa thường được sử dụng như khí CO_2, Na_2CO_3, K_2CO_3, KOH, $ZnCl_2$ [8-11]. Trong nghiên cứu này, thân sắn và KOH được sử dụng như nguồn nguyên liệu carbon và tác nhân hoạt hóa. Kết hợp hai bước than hóa và hoạt hóa đồng thời trong cùng một giai đoạn để chế tạo than hoạt tính có khả năng hấp phụ các chất kháng sinh ô nhiễm trong môi trường nước.

2. Thực nghiệm

2.1. Tổng hợp vật liệu

Thân sắn được lấy cách gốc khoảng 5 cm, cách ngọn 15 cm, phần lõi mềm bên trong được tách ra khỏi thân, sau đó đem sấy khô ở 105 °C để đạt được độ ẩm dưới 10%. Thân sắn sau khi sấy khô được nghiền thành các hạt có kích thước trong khoảng 500 µm đến 1 mm.

1 g bột thân sắn khô được trộn với dung dịch KOH nồng độ 10% theo tỷ lệ khối lượng bột thân sắn (g)/thể tích KOH (mL) = 1:2. Hỗn hợp được khuấy liên tục trong 3 giờ ở 50 ºC. Sau đó làm khô hỗn hợp ở 110 ºC trong 24 giờ, tiến hành nung yếm khí hỗn hợp ở các nhiệt độ 500, 600, 700 và 800 ºC trong 2 giờ. Sản phẩm sau khi nung được rửa bằng dung dịch HCl 0,5N và nước cất ấm cho đến khi pH của dung dịch đạt 6,5 và cuối cùng rửa sạch bằng nước cất lạnh. Sau đó, mẫu được sấy khô ở 110 ºC trong 24 giờ và bảo quản trong bình hút ẩm. Các vật liệu than hoạt tính được điều chế ở các nhiệt độ nung 500, 600, 700 và 800 ºC được ký hiệu là AC-x (x là nhiệt độ nhiệt phân và x = 500, 600, 700 và 800) [12].

2.2. Đặc trưng vật liệu

Phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD) (D8-Advance 5005) được dùng để xác định thành phần pha của vật liệu. Phương pháp hiển vi điện tử quét (JEOL JSM-6500F) dùng để khảo sát hình ảnh bề mặt. Kỹ thuật hấp phụ và giải hấp phụ N_2 ở 77 K (Micromeritics Tristar 300) dùng để xác định diện tích bề mặt và phân bố mao quản. Phổ hồng ngoại (Nicolet Magna-IR 760 Spectrometer) dùng để xác định các nhóm chức trên bề mặt than trước và sau khi hoạt hóa.

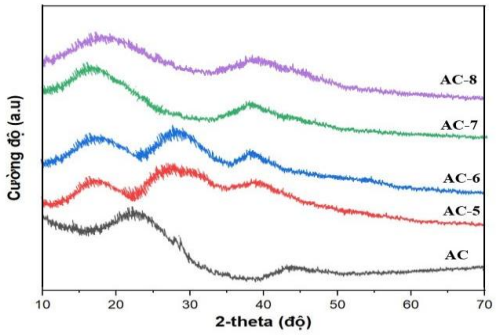
2.3. Thí nghiệm đánh giá khả năng hấp phụ

Cân 0,1 g than hoạt tính và 100 mL dung dịch TC 9,56 mg/L cho vào cốc 250 mL. Khuấy đều trên máy khuấy từ, sau 30, 60, 90, 120, 150, 180 phút. Lấy 10 mL hỗn hợp trên và ly tâm (tốc độ 6000 vòng/phút trong 15 phút), nồng độ TC được xác định bằng phương pháp đo quang ở bước sóng 355 nm trên máy UV - Vis (CE-2011).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc trưng vật liệu

Để xác định các hợp phần trong vật liệu tổng hợp, các vật liệu AC-x được đặc trưng bằng phương pháp nhiễu xạ tia X, kết quả được trình bày ở Hình 1.

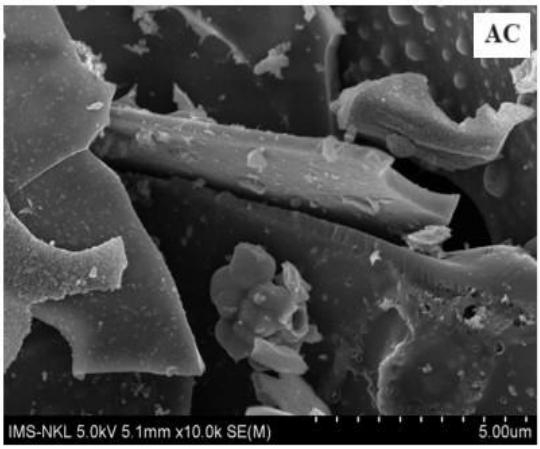


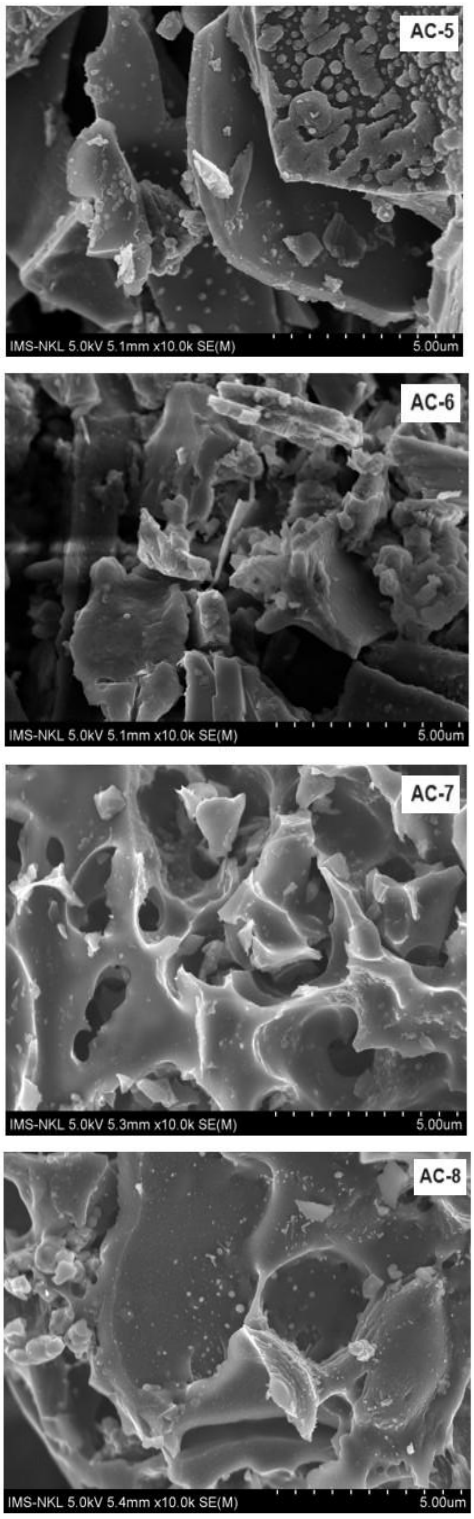
Hình 1. Giản đồ nhiễu xạ tia X của vật liệu than hoạt tính AC, AC-5, AC-6, AC-7 và AC-8.

Kết quả từ giản đồ nhiễu xạ tia X ở Hình 1 cho thấy, đối với mẫu than không hoạt hóa (AC), xuất hiện hai đỉnh nhiễu xạ rộng ở góc 2θ khoảng 23 và 43º, tương ứng với các mặt phẳng (002) và (100) của cấu trúc carbon vô định hình và cấu trúc graphite [13]. Với các mẫu vật liệu than được hoạt hóa bằng KOH, các đỉnh nhiễu

xạ ở góc 2θ tại vị trí 23° và 43° có hiện tượng dịch chuyển sang góc nhiễu xạ bé hơn. Đối với mẫu AC-5 và AC-6, xuất hiện đỉnh nhiễu xạ ở khoảng 27° tương ứng với K_2CO_3 hình thành còn lại sau hoạt hóa (theo thẻ JCPDS 71–1466) [12]. Sự dịch chuyển về phía góc nhiễu xạ bé hơn của hai đỉnh nhiễu xạ tại vị trí 2θ là 23° và 43° có thể là do sự sắp xếp lại của nguyên tử carbon trong than hoạt tính. Sự dịch chuyển này cho thấy có sự mở rộng mao quản từ các vi mao quản nhờ sự có mặt của tác nhân hoạt hóa KOH [12].

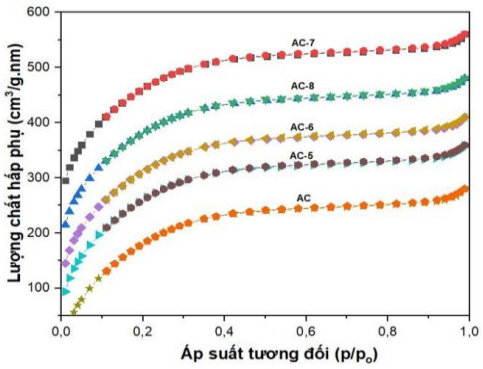
Ảnh vi cấu trúc của các vật liệu AC, AC-5, AC-6, AC-7 và AC-8 được đặc trưng bằng phương pháp hiển vi điện tử quét, kết quả trình bày ở Hình 2. Ảnh SEM ở Hình 2 cho thấy, vật liệu AC có dạng cấu trúc lớp đặc khít, bề mặt tương đối nhẵn; còn các vật liệu than hoạt hóa ở các nhiệt độ 500 và 600 °C thì vật liệu có cấu trúc kém đặc khít dần, bề mặt dần trở nên lồi lõm hơn. Khi tăng nhiệt độ hoạt hóa lên 700 °C, xuất hiện các mao quản có nhiều đường kính khác nhau rõ ràng, bề mặt than gồ ghề đáng kể. Khi tiếp tục nâng nhiệt độ hoạt hóa lên 800 °C thì bề mặt than cũng xuất hiện các mao quản có đường kính khá lớn và thành mao quản kém chắc chắn hơn so với mẫu than hoạt hóa ở 700 °C. Kết quả này cho thấy, ở nhiệt độ hoạt hóa than 700 °C đã tạo ra vật liệu than hoạt tính có hệ thống mao quản đều và ổn định hơn các vật liệu AC và AC-x khác trong vùng khảo sát.





Hình 2. Ảnh SEM của vật liệu AC, AC-5, AC-6, AC-7 và AC-8.

Tính chất xốp của các vật liệu AC, AC-5, AC-6, AC-7 và AC-8 được nghiên cứu bằng phép đo đẳng nhiệt hấp phụ và giải hấp phụ nitrogen. Kết quả phép đo đẳng nhiệt hấp phụ và giải hấp phụ nitrogen của các vật liệu AC, AC-5, AC-6, AC-7 và AC-8 ở Hình 3 cho thấy, các đường đẳng nhiệt hấp phụ-giải hấp phụ N_2 của các mẫu than nghiên cứu đều có dạng I theo sự phân loại của IUPAC [12]. Điều này chứng tỏ các mẫu than AC và AC-x đều thuộc loại vật liệu mao quản nhỏ nhưng bên cạnh đó, khoảng uốn trên các đường đẳng nhiệt hấp phụ N_2 của các mẫu đều khá rộng và xuất hiện vòng trễ khi giải hấp phụ ở các mẫu AC-6, AC-7 và AC-8 mặc dù không rõ lắm. Như vậy, ngoài các mao quản nhỏ các mẫu than chế tạo được có thể còn chứa cả mao quản trung bình.



Hình 3. Đường đẳng nhiệt hấp phụ - giải hấp phụ N_2 của AC, AC-5, AC-6, AC-7 và AC-8.

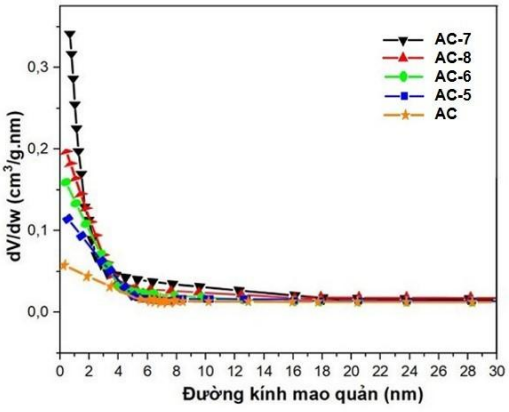
Kết quả xác định diện tích bề mặt riêng và các đặc trưng mao quản (*diện tích mao quản nhỏ S_{MQN}, thể tích mao quản nhỏ V_{MQN} và tổng thể tích mao quản V_T)* của các mẫu than được tóm tắt trong Bảng 1.

Bảng 1. Diện tích bề mặt riêng S_{BET} và đặc tính mao quản của các vật liệu AC, AC-x

Mẫu than	S_{BET} (m^2/g)	S_{MQN} (m^2/g)	V_T (cm^3/g)	V_{MQN} (cm^3/g)
AC	268	251	0,1281	0,1162
AC-5	376	362	0,1858	0,1677
AC-6	752	694	0,4321	0,3934
AC-7	1643	1261	1,0293	0,7332
AC-8	1621	1256	0,9041	0,7128

Kết quả ở Bảng 1 cho thấy, các vật liệu than được hoạt hóa bằng tác nhân KOH có diện tích bề mặt riêng và thể tích mao quản lớn hơn nhiều so với than không hoạt hóa. Cụ thể, trong số các mẫu than được hoạt hóa ở nhiệt độ 500, 600, 700 và 800 °C thì mẫu than ở 700 °C có diện tích bề mặt riêng là 1643 m^2/g và tổng thể tích mao quản là 1,029 cm^3/g là cao hơn đáng kể so với các mẫu than hoạt hóa khác (Bảng 1) và mẫu than không hoạt hóa (268 m^2/g và 0,1281 cm^3/g). Điểm đáng chú ý là than hoạt tính chế tạo từ thân sắn có bề mặt riêng rất phát triển và chứa chủ yếu mao quản nhỏ: chẳng hạn đối với mẫu AC-7 thì diện tích mao quản nhỏ chiếm 76,75% bề mặt riêng và thể tích mao quản nhỏ là 71,25%. Điều này cho thấy, tiềm năng của việc sử dụng KOH làm tác nhân hoạt hóa trong chế tạo than hoạt tính.

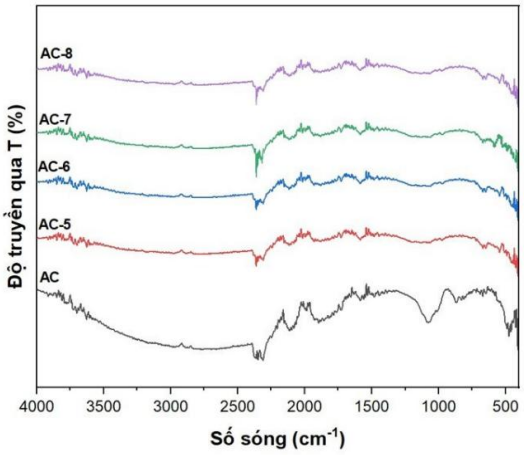
Đường cong phân bố kích thước mao quản của các vật liệu AC và AC-x ở Hình 4 hầu như không xuất hiện đỉnh phân bố rõ ràng và có đường kính mao quản trong khoảng 1 - 20 nm. Điều này chỉ ra rằng đặc tính lỗ mao quản khác nhau trong AC và AC-x bao gồm cả vi mao quản và mao quản trung bình do tác động của chất hoạt hóa KOH. Sự hiện diện của các lỗ mao quản trung bình sau khi hoạt hóa bằng KOH có thể sẽ cải thiện đáng kể hiệu suất hấp phụ chất kháng sinh của các vật liệu than hoạt tính.



Hình 4. Sự phân bố đường kính mao quản của AC, AC-5, AC-6, AC-7 và AC-8.

Đặc điểm liên kết trong các vật liệu AC, AC-5, AC-6, AC-7 và AC-8 được đặc trưng

bằng phổ hồng ngoại. Từ kết quả phổ IR ở Hình 5 cho thấy, các vật liệu than sau hoạt hóa AC-x không xuất hiện các đỉnh phổ lạ so với mẫu than chưa hoạt hóa AC. Cụ thể, trên phổ IR của vật liệu AC, AC-5, AC-6, AC-7 và AC-8 đều xuất hiện dải pic trong khoảng 3500 - 3700 cm^{-1} đặc trưng cho nhóm -OH của nước trong cấu trúc của than thân cây sắn. Đỉnh phổ xuất hiện tại 2346 cm^{-1} được biết là dao động của nhóm ankan hoặc ankyl, đỉnh phổ ở khoảng 1640 cm^{-1} được cho là dao động của liên kết C=C liên hợp trong hợp chất thơm trong than hoạt tính. Dải hấp thụ yếu ở khoảng 790 cm^{-1} tương ứng với dao động của C-H có mặt trong than hoạt tính [14]. Tuy nhiên, đỉnh hấp thụ ở khoảng số sóng 1050 - 1100 cm^{-1} đặc trưng cho sự tồn tại của liên kết C-O là gần như không xuất hiện trên phổ IR của các vật liệu AC-x. Điều này có thể là do, sự giảm hàm lượng nguyên tố oxygen trong quá trình hoạt hóa thân sắn bằng KOH.



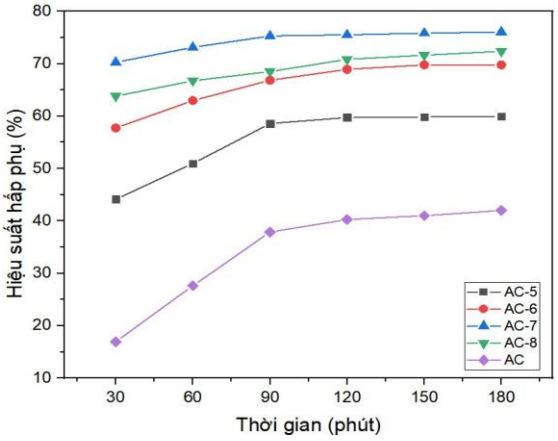
Hình 5. Phổ IR của của các vật liệu AC, AC-5, AC-6, AC-7 và AC-8.

3.2. Khả năng hấp phụ tetracyline

Hiệu suất hấp phụ của các vật liệu AC, AC-5, AC-6, AC-7 và AC-8 được đánh giá thông qua khả năng hấp phụ TC. Kết quả Hình 6 cho thấy, hiệu suất hấp phụ kháng sinh TC của các vật liệu AC, AC-5, AC-6, AC-7 và AC-8 lần lượt là 41,98, 59,96; 69,77; 76,05 và 72,37%. Trong đó, hiệu suất hấp phụ kháng sinh TC trên vật liệu AC-7 là cao nhất so với vật liệu AC chưa hoạt hóa và các vật liệu AC-x hoạt hóa. Điều này có thể được giải thích là do, mẫu vật liệu AC chưa được hoạt hóa nên hệ thống lỗ xốp trong vật liệu chưa nhiều, diện tích bề mặt và thể tích lỗ xốp nhỏ; còn vật liệu AC-5 và AC-6 mặc dù được hoạt hóa bằng KOH nhưng ở nhiệt độ 500 và 600 ^oC thì hệ thống lỗ xốp và diện tích bề mặt tăng nhưng không nhiều nên hiệu suất hấp phụ TC của hai vật liệu này chưa cao. Khi tăng nhiệt độ hoạt hóa lên 700 ^oC thì hệ thống lỗ xốp và diện tích bề mặt tăng mạnh [12] dẫn đến hiệu suất hấp phụ TC của vật liệu AC-7 tăng lên. Tuy nhiên, khi nâng nhiệt độ nhiệt hoạt hóa mẫu than lên 800 ^oC thì hiệu suất hấp phụ TC của vật liệu giảm, điều này có thể là do ở nhiệt độ này có hiện tượng sụp cấu trúc làm cho diện tích bề mặt riêng cũng như thể tích mao quản có sự giảm nhẹ. Sự hình thành lỗ xốp trong vật liệu là do K_2CO_3 được hình thành từ phản ứng giữa KOH và C trong quá trình hoạt hóa [15]. Và sau đó, K_2CO_3 tiếp tục bị phân hủy thành CO_2 và K_2O theo phương trình sau [16]:

$$6KOH + 2C \rightarrow 2K + 3H_2 + 2K_2CO_3$$

$$K_2CO_3 \rightarrow K_2O + CO_2$$



Hình 6. Hiệu suất hấp phụ TC của các vật liệu AC, AC-5, AC-6, AC-7 và AC-8.

Như vậy, từ kết quả khảo sát khả năng hấp phụ TC trên các vật liệu AC và AC-x cho thấy, vật liệu AC-7 có khả năng hấp phụ TC là tốt nhất so với các vật liệu còn lại trong vùng khảo sát. Để mô tả các số liệu thực nghiệm hấp phụ TC trên vật liệu AC-7, chúng tôi sử dụng mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir. Dạng tuyến tính của đẳng nhiệt Langmuir được viết như sau:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_{max}} + \frac{1}{K.q_{max}}$$

Phương trình này có dạng tuyến tính y = ax + b với y là C_e/q_e và x là C_e.

Trong đó q_e là dung lượng hấp phụ tại thời điểm khảo sát, q_{max} là dung lượng hấp phụ cực đại, C_e là nồng độ chất bị hấp phụ tại thời điểm đạt cân bằng hấp phụ, K là hằng số Langmuir.

Để đánh giá mức độ phù hợp của số liệu thực nghiệm và phương trình Langmuir, người ta sử dụng sự phân tách nhân tố không có thứ nguyên R_L được cho bởi biểu thức sau [17]:

$R_L = 1/(1+ K.C_o)$

C_o là nồng độ đầu cao nhất của dung dịch chất hấp phụ.

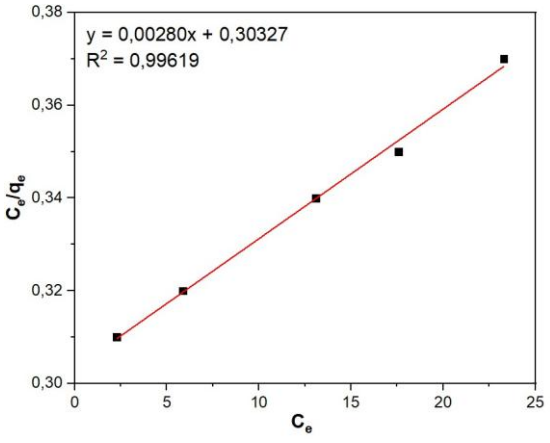
Giá trị $R_L > 1$, sự hấp phụ theo mô hình Langmuir là không phù hợp.

$R_L = 1$, sự hấp phụ tuyến tính.

$0 < R_L < 1$, sự hấp phụ theo mô hình Langmuir là phù hợp.

$R_L = 0$, sự hấp phụ không thuận nghịch.

Từ số liệu thực nghiệm, hồi quy tuyến tính các giá trị thực nghiệm C_e/q_e theo C_e, kết quả đường đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir của vật liệu AC-7 được trình bày ở Hình 7.



Hình 7. Đường đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir của vật liệu AC-7.

Các giá trị q_{max}, K, R^2 và R_L thu được từ đường đẳng nhiệt hấp phụ hấp phụ TC trên vật liệu AC-7 được trình bày trong Bảng 2. Kết quả thu được ở Bảng 2 cho thấy, quá trình hấp phụ TC trên vật liệu AC-7 tuân theo mô hình đẳng nhiệt Langmuir, với giá trị hệ số xác định R^2 và R_L và dung lượng hấp phụ cực đại lần lượt là là 0,99619; 0,56 và 357,14 mg/g. Kết quả này chứng tỏ, việc hoạt hóa thân sắn bằng KOH có khả năng hấp phụ kháng sinh TC.

Bảng 2. Các thông số tính theo mô hình đẳng nhiệt Langmuir của AC-7

Mô hình đẳng nhiệt Langmuir			
K	R^2	q_{max} (mg/g)	R_L
0,009	0,99619	357,14	0,56

4. Kết luận

Các vật liệu than hoạt tính đã được tổng hợp thành công từ nguồn nguyên liệu thân sắn và tác nhân hoạt hóa KOH ở các nhiệt độ nhiệt phân 500, 600, 700 và 800 ^oC. Tất cả các mẫu than sau khi hoạt hóa đều có diện tích bề mặt riêng cao hơn so với mẫu than không hoạt tính. Trong đó, mẫu than hoạt tính nhiệt phân ở 700 ^oC có diện tích bề mặt riêng lớn nhất đạt 1643 m^2/g và thể tích mao quản là 1,0293 cm^3/g. Kết quả khảo sát cho thấy, khả năng hấp phụ TC của AC-7 có dung lượng hấp phụ cực đại q_{max} là 357,14 mg/g. Kết quả này cho thấy tiềm năng của than hoạt tính trong việc loại bỏ các chất kháng sinh ô nhiễm.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Khoa học và Công nghệ trong khuôn khổ đề tài cấp Nhà nước, mã số ĐTĐL.CN.33/21.

Tài liệu tham khảo

[1] T. C. Alves, A. C. Codony, D. Barceló, S. R. Mozaz, A. Pinheiro, R. G. Olmos, Influencing Factors on the Removal of Pharmaceuticals from Water with Micro-grain Activated Carbon, Water Res, Vol. 144, 2018, pp. 402-412.

[2] M. Kwiatkowski, E. Broniek, An Analysis of the Porous Structure of Activated Carbons Obtained from Hazelnut Shells by Various Physical and Chemical Methods of Activation, Colloids Surf A, Vol. 529, 2017, pp. 443-453.

[3] B. H. Beakou, K. El Hassani, M. A. Houssaini, M. Belbahloul, E. Oukani, A. Anouar, Novel Activated Carbon from Manihot Esculenta Crantz for Removal of Methylene Blue, Sustain Environ Res, Vol. 27, No. 5, 2017, pp. 215-222.

[4] T. E. Amakoromo, O. E. Abumere, J. A. Amusan, V. Anye, A. Bello, Porous Carbon from Manihot Esculenta (Cassava) Peels Waste for Charge Storage Applications, Curr. Res. Green Sustain. Chem., Vol. 4, 2021, pp. 100098.

[5] N. S. Sulaiman, R. Hashim, M. H. Mohamad Amini, M. Danish & O. Sulaiman, Optimization of Activated Carbon Preparation from Cassava Stem using Response Surface Methodology on Surface Area and Yield, Journal of Cleaner Production, Vol. 198, 2018, pp. 1422-1430.

[6] A. P. Chandrasekaran, S. Sivamani, V. Ranjithkumar, Characterization of Combined Organic-Inorganic Acid-pretreated Cassava Stem, International Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 14, No. 6, 2017, pp. 1291-1296.

[7] A. E. Ismanto, S. Wang, F. E. Soetaredjo, S. Ismadji, Preparation of Capacitor's Electrode from Cassava Peel Waste, Bioresource Technology, Vol. 101, No. 10, 2010, pp. 3534-3540.

[8] S. Mopoung, P. Moonsri, W. Palas, S. Khumpai, Characterization and Properties of Activated Carbon Prepared from Tamarind Seeds by KOH Activation for Fe(III) Adsorption from Aqueous Solution, The Scientific World Journal, Vol. 2015, 2015, pp. 1-9.

[9] A. H. Jawad, S. Sabar, M. A. M. Ishak, L. D. Wilson, S. S. Ahmad Norrahma, M. K. Talari, A. M. Farhan, Microwave-assisted Preparation of Mesoporous-activated Carbon from Coconut (Cocos Nucifera) Leaf by H_3PO_4 Activation for Methylene Blue Adsorption, Chem. Eng. Commun., Vol. 204, No. 10, 2017, pp. 1143e1156.

[10] S. S. Lam, R. K. Liew, Y. M. Wong, P. N. Y. Yek, L. N. Ma, C. L. Lee, H. A. Chase, Microwave-Assisted Pyrolysis with Chemical Activation, An Innovative Method to Convert Orange Peel into Activated Carbon with Improved Properties as Dye Adsorbent, Journal of Cleaner Production, Vol. 162, 2017, pp. 1376-1387.

[11] K. Y. Urbain, K. Daouda, Z. V. E. Simon, T. Albert, Y. K. Benjamin, D. Patrick, Optimization of Preparation Conditions of Activated Carbons Based on the Shells of Ricinodendron Heudoltii, Journal of Materials Science and Chemical Engineering, Vol. 10, No. 10, 2022.

[12] S. Chaisit, N. Chanlek, J. Khajonrit, T. Sichumsaeng, S. Maensiri, Preparation, Characterization, and Electrochemical Properties of KOH-activated Carbon from Cassava Root, Mater. Res. Express, Vol. 7, 2020, pp. 105605.

[13] X. Y. Liu, M. Huang, H. L. Ma, Z. Q. Zhang, J. M. Gao, Y. L. Zhu, X. Y. Guo, Preparation of a Carbon-Based Solid Acid Catalyst by Sulfonating Activated Carbon in a Chemical Reduction Process, Molecules, Vol. 15, No. 10, 2010, pp. 7188- 7196.

[14] N. S. Sulaiman, M. Hazim M. Amini, M. Danish, O. Sulaiman, R. Hashim, S. Demirel, G. K. Demirel, Characterization and Ofloxacin Adsorption Studies of Chemically Modified Activated Carbon from Cassava Stem, Materials, Vol. 15, 2022, pp. 5117.

[15] M. M. Sabio, F. R. Reinoso, Role of Chemical Activation in the Development of Carbon Porosity, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Vol. 241, 2004, pp. 15-25.

[16] T. W. Weber, P. Chakkravorti, Pore and Diffusion Models for Fixed-bed Adsorbers, AIChEJ, Vol. 20, 1974, pp. 228.