Vietnam Journal of Catalysis and Adsorption
Tạp chí xúc tác và hấp phụ Việt Nam

https://jca.edu.vn

Nghiên cứu chế tạo than hoạt tính từ vỏ macca ứng dụng làm vật liệu hấp phụ hiệu quả các chất ô nhiễm hữu cơ trong nước thải

Preparation of Activated Carbon from Macadamia Shells for Efficient Removal of Organic Pollutants from Wastewater

Nguyễn Thị Ngà[1], Phạm Thị Quỳnh Chi[1], Hoàng Trọng Đường[1], Nguyễn Thị Phương Anh[1], Nguyễn Thị Hòa[1], Phùng Thị Lan[2], Nguyễn Hoàng Hào[1,*]

[1] *Khoa Hóa học, trường Sư phạm, Trường Đại học Vinh, Số 182 Lê Duẩn, Nghệ An, Việt Nam*
[2] *Khoa Hóa học, Trường Đại học Sư Phạm Hà Nội, Số 136 Xuân Thủy, Hà Nội*
** Email: haonh@vinhuni.edu.vn*

ARTICLE INFO

Received: 13/03/2026
Accepted: 26/03/2026
Published: 30/03/2026

Keywords:
Activated carbon;
adsorption isotherm;
adsorption capacity.

ABSTRACT

Activated carbon was prepared from macadamia nutshells by chemical activation using KOH and K_2CO_3 as activating agents and was characterized by Brunauer–Emmett–Teller (BET) surface area analysis, scanning electron microscopy (SEM), and determination of the point of zero charge (pH_pzc) using the pH drift method in KNO_3 solution. For the KOH-activated sample, the resulting carbon exhibited a larger micropore volume, with pore diameters predominantly smaller than 3 nm, and a higher specific surface area (1599.73 $m^2\ g^{-1}$). In contrast, the K_2CO_3-activated carbon was dominated by pores in the 3.5–4.5 nm range, with a comparatively lower specific surface area (988.91 $m^2\ g^{-1}$). The point of zero charge (pH_{PZC}) of the prepared activated carbons was found to be in the range of 6.8–6.9. Adsorption experiments for Rhodamine B, chloramphenicol, and phenol demonstrated the superior adsorption performance of the KOH-activated carbon. The adsorption kinetics for all three adsorbates were well described by the pseudo-second-order kinetic model.

Giới thiệu chung

Sự hiện diện của các hợp chất hữu cơ độc hại như thuốc nhuộm [1], kháng sinh [2, 3] và các hợp chất phenolic trong nước thải công nghiệp đang trở thành vấn đề môi trường nghiêm trọng do độc tính cao, khả năng tích lũy sinh học và tính bền vững trong môi trường nước [4]. Các hợp chất này thường xuất phát từ các ngành công nghiệp dệt nhuộm, dược phẩm và hóa chất, và khó bị phân hủy bằng các phương pháp sinh học thông thường [5].

Than hoạt tính là vật liệu được sử dụng nhiều trong công nghệ hấp phụ nhờ diện tích bề mặt riêng lớn, thể tích mao quản cao. Bên cạnh đó, hàm lượng lớn các nhóm chức bề mặt giúp cho than hoạt tính trở thành vật liệu hấp phụ hiệu quả cho các chất hữu cơ. Gần đây, việc chế tạo than hoạt tính có các tính chất hóa học và vật lý mong muốn từ chất thải nông nghiệp đã thu hút nhiều sự quan tâm [6] và có thể được ứng dụng làm vật liệu hấp phụ trong nhiều quá trình làm sạch như xử lý nước thải [7], làm sạch khí [8], và loại bỏ kim loại [9]. Trong số đó, vỏ hạt macca (macadamia nut shell) được xem là nguồn nguyên liệu tiềm năng do có hàm lượng carbon cao, cấu trúc lignocellulose bền vững và khả năng tạo cấu trúc mao quản phát triển sau quá trình hoạt hóa [10]. Một số

©2026 by the authors. Licensee Vietnam Journal of Catalysis and Adsorption.
This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

https://doi.org/10.62239/jca.2026.008

nghiên cứu đã chứng minh rằng than hoạt tính từ vỏ macca là một chất hấp phụ hiệu quả đối với các hợp chất phenolic trong nước thải [11, 12].

Tại Việt Nam, cây macca được trồng và mở rộng nhanh chóng trong khoảng hơn một thập kỷ gần đây, đặc biệt tại các tỉnh Tây Nguyên và một số vùng trung du miền núi phía Bắc. Do đó, than hoạt tính được sản xuất từ vỏ macca rất thuận tiện về nguồn nguyên liệu, đồng thời vật liệu này được xem là một lựa chọn tiềm năng, thân thiện môi trường và kinh tế cho các công nghệ xử lý nước và bảo vệ môi trường .

Mục tiêu của nghiên cứu này là so sánh quá trình sản xuất than hoạt tính bằng phương pháp hoạt hóa hóa học với hai tác nhân chính là K_2CO_3 và KOH nhằm thu được than có cấu trúc vi mao quản phát triển, phù hợp để hấp phụ một số chất hữu cơ phổ biến trong nước thải công nghiệp.

Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

Hóa chất

KOH (CAS 1310-58-3), K_2CO_3 (CAS 584-08-7), C_6H_5OH (phenol, CAS 108-95-2) được mua của công ty Xilong, Trung Quốc. $C_{11}H_{12}Cl_2N_2O_5$ (chloramphenicol, CAS56-75-7), $C_{28}H_{31}ClN_2O_3$ (RhodaminB, CAS 81-88-9) được cung cấp bởi Shanghai Anoky Group Co., Trung Quốc.

Chế tạo than hoạt tính từ vỏ macca

Vỏ macca được than hóa ở 500°C trong điều kiện yếm khí. Sau đó được nghiền nhỏ, lựa chọn kích thước phù hợp bằng rây rồi ngâm ủ với dung dịch K_2CO_3 và KOH với tỉ lệ khối lượng than/chất hoạt hóa = 1/3 trong 8h. Sản phẩm được sấy khô và hoạt hóa trong dòng N_2 tại nhiệt độ 800°C trong 3 giờ. Sau hoạt hóa, các mẫu than được ngâm với HCl 0,1 M trong 4 tiếng, sau đó rửa và lọc nóng cho đến khi đạt pH trung tính. Các mẫu than được ký hiệu lần lượt là AC cho than gốc, AC- K_2CO_3 cho than hoạt hóa bằng K_2CO_3 và AC-KOH cho mẫu than hoạt hóa bằng KOH.

Đặc trưng

Than hoạt tính chế tạo được đánh giá bằng các phương pháp như đẳng nhiệt hấp phụ nitrogen được đo ở nhiệt độ 77 K bằng máy phân tích hấp phụ khí tự động TriStar 3000 (Micromeritics). Hình ảnh bề mặt được xác định bằng phương pháp SEM trên thiết bị JCM-6000Plus. Điểm đẳng điện được xác định bằng sự thay đổi pH của dung dịch KNO3 trước (pHi) và sau khi tiếp xúc với vật liệu hấp phụ (pHf) [13].

Nghiên cứu hấp phụ chất hữu cơ trên than hoạt tính

Các mẫu chất hữu cơ được chuẩn bị với các nồng độ khác nhau trong thể tích 150 ml. Một lượng xác định than hoạt tính kích thước từ 0,2-0,5 mm được thêm vào. Nồng độ chất hữu cơ được xác định bằng phương pháp hấp thụ quang trên thiết bị UV-Vis Carry 60 theo phương pháp đường chuẩn, cụ thể phenol được phân tích bằng phương pháp tạo màu với 4-amino antipyrine và xác định bằng UV-Vis theo các phương pháp tiêu chuẩn của APHA [14] tại bước sóng 505 nm, Rhodamin B cũng được phân tích ở bước sóng 555 nm và Cloramphenicol được phân tích ở bước sóng 276 nm.

Kết quả và thảo luận

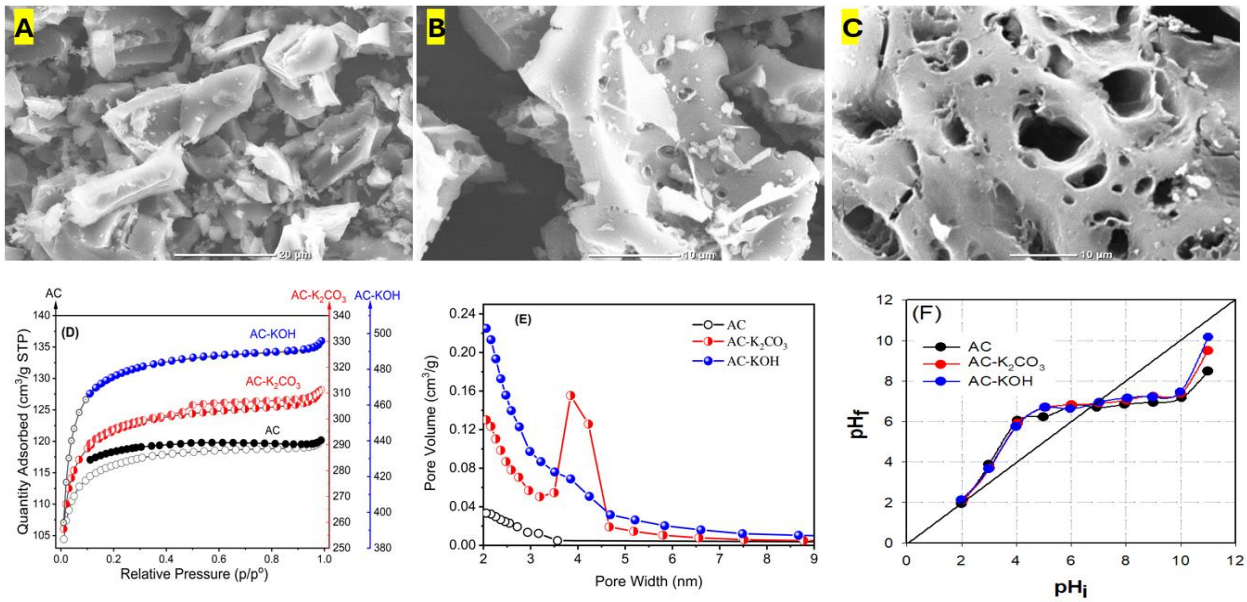
Đặc trưng hóa lý của vật liệu

Ảnh SEM của các mẫu than macca: mẫu than nguyên khai chưa hoạt hóa và mẫu than đã hoạt hóa với K_2CO_3 và mẫu than hoạt hóa với KOH được trình bày trên hình 1. Các hình ảnh cho thấy ở mẫu than nguyên khai AC (hình 1.a), bao gồm các mảnh than với rất ít xuất hiện các lỗ mao quản. Ở mẫu than hoạt hóa bằng K_2CO_3 là AC- K_2CO_3 (hình 1.b) các lỗ mao quản xuất hiện nhiều hơn, tuy nhiên có kích thước nhỏ. Ở mẫu than đã hoạt hóa bằng KOH là AC-KOH(Hình 1.c) cho thấy các lỗ mao quản được mở rộng hơn nhiều so với than hoạt hóa bằng K_2CO_3, các mao quản này có kích thước không đồng đều. Việc gia tăng mạnh các mao quản rộng làm tăng khả năng xuất hiện nhiều mao quản nhỏ thứ cấp ở phía trong, nghĩa là có thể gia tăng của diện tích bề mặt và thể tích vi mao quản.

Hình 1.d biểu diễn đường đẳng nhiệt hấp phụ/khử hấp phụ N_2 của than chưa hoạt hóa (than gốc) và hai mẫu than hoạt hóa. Kết quả đường đẳng nhiệt hấp phụ và khử hấp phụ tách ra không trùng nhau và cũng không có sự xuất hiện của đường trễ cho thấy ở mẫu AC chủ yếu hấp phụ bề mặt ngoài, không có cấu trúc mao quản. Trên mẫu AC-K_2CO_3 hóa có sự xuất hiện đường trễ không rõ ràng, nghĩa là có một phần là mao quản lớn hơn được hình thành. Ở mẫu AC-KOH, đường biểu diễn này cho thấy tuân theo dạng I trong phân loại cuart IUPAC, với tổng lượng N_2 hấp phụ cao, nghĩa là vật liệu chứa nhiều lỗ xốp nhỏ với thể tích vượt trội hơn. Điều này được khẳng định khi xem xét đường phân bố mao quản: ở mẫu AC-KOH, phân bố mao quản tập trung chủ yếu ở kích thước dưới 3nm, ở mẫu AC-K_2CO_3 có sự xuất hiện một lượng khá lớn ở kích thước 3,5-4,5nm. Xem xét kỹ hơn các thông số từ phương pháp BET được xác định trên bảng 1 cho thấy: diện tích bề mặt riêng của các mẫu lần lượt là 390,28 $m^2.g^{-1}$ ở AC, 988,91 $m^2.g^{-1}$ ở AC-K_2CO_3 và lên đến 1599,73 $m^2.g^{-1}$ ở mẫu AC-KOH, trong đó

https://doi.org/10.62239/jca.2026.008

phần diện tích vi mao quản ở mẫu than AC-KOH là 1526,24 $m^2.g^{-1}$, chiếm hơn 96% tổng diện tích bề mặt riêng trong khi đó ở mẫu AC-K_2CO_3 chỉ là 95%. Điều này có thể được giải thích khi so sánh khả năng hoạt hóa của K_2CO_3 và KOH. Quá trình hoạt hóa bằng KOH dẫn đến sự hình thành các vi mao quản ở nhiệt độ thấp, sau đó là sự mở rộng các mao quản ở nhiệt độ cao hơn. Ngược lại, quá trình hoạt hóa bằng K_2CO_3 diễn ra nhẹ nhàng hơn và chủ yếu làm mở rộng các mao quản hiện có hơn là tạo ra một lượng lớn các vi mao quản mới [15], điều này phù hợp với kết quả quan sát thấy ở đặc trưng SEM đã phân ở trên.



Hình 1: Ảnh SEM mẫu than từ hạt macca: AC (a) và AC- K_2CO_3 (b) và AC-KOH (c), Đường đẳng nhiệt hấp phụ - khử hấp phụ N_2 77K các mẫu than (d), đường phân bố mao quản các mẫu than (e) và pH_{PZC} của các mẫu than (f)

Bảng 1: Thông số bề mặt theo phương pháp BET của vật liệu

Mẫu	V_{tot} ($cm^3.g^{-1}$)	S_{mic} ($m^2.g^{-1}$)	S_{ex} ($m^2.g^{-1}$)	S_{BET} ($m^2.g^{-1}$)
AC	0,1743	376,95	13,33	390,28
AC- K_2CO_3	0,4384	944,86	44,75	988,91
AC-KOH	0,7091	1536,24	62,98	1599,73

Các kết quả đặc trưng bề mặt đã chỉ ra, vật liệu than hoạt hóa có bề mặt riêng phát triển mạnh hơn nhiều so với mẫu than nguyên khai, điều đó cho thấy đây là vật liệu hấp phụ rất tiềm năng, đặc biệt là than được hoạt hóa bằng KOH.

Giá trị điểm đẳng điện pH_{PZC} được xác định dựa trên khảo sát sự thay đổi pH trước và sau của dung dịch KNO_3 khi ngâm với các mẫu than, kết quả được thể hiện trên hình 1.f.

Dựa trên đồ thị, có thể xác định được pH_{PZC} của các mẫu than AC, AC- K_2CO_3 và AC-KOH đều nằm trong khoảng 6,8-6,9. Điều này cho thấy, quá trình hoạt hóa không ảnh hưởng nhiều đến điểm đẳng điện của họ vật liệu. Tại pH < pH_{PZC}, bề mặt vật liệu tích điện dương và ưu tiên hấp phụ các anion; ngược lại tại pH > pH_{PZC}, bề mặt tích điện âm và ưu tiên hấp phụ các cation.

Nghiên cứu khả năng hấp phụ của than hoạt tính vỏ macca

Nghiên cứu khả năng hấp phụ của than hoạt tính vỏ macca với RhodaminB

Các kết quả đẳng nhiệt hấp phụ của ba mẫu than AC, AC- K_2CO_3 và AC-KOH được trình bày trên hình 2.a cho thấy, mẫu than AC-KOH cho thấy khả năng hấp phụ RhodaminB vượt trội so với hai mẫu còn lại.

Từ phương trình Langmuir: $q_e = q_{max}\frac{K_L C_e}{1+K_L C_e}$

dạng tuyến tính của phương trình này có dạng:

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

Trên cơ sở đường đẳng nhiệt hấp phụ RhB lên trên các mẫu than hoạt tính thể hiện ở hình 2.a, thiết lập được đường tuyến tính thể hiện trên hình 2.b.

Từ các phương trình tuyến tính "1/qe-1Ce" tính được các hằng số của phương trình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir, kết quả được thể hiện trên bảng 2.

Bảng 2 cho thấy mẫu than AC- K_2CO_3 khi hoạt hóa cho giá trị dung lượng hấp phụ cực đại tăng cao (60,60mg g^{-1}) so với mẫu than gốc AC (13,33 mg g^{-1}), và vượt trội ở mẫu AC-KOH (166,67 mgg^{-1}). Điều này cho thấy tác

https://doi.org/10.62239/jca.2026.008

nhân KOH hoạt hóa bề mặt than rất tốt, giúp vật liệu có khả năng hấp phụ rất mạnh chất hữu cơ như RhodaminB. Chính vì thế, AC-KOH là đối tượng được lựa chọn cho các thí nghiệm tiếp theo.

Bảng 2: Các thông số cân bằng hấp phụ RhB trên các mẫu than hoạt tính và động học hấp phụ RhB trên than hoạt tính AC-KOH

Khảo sát đẳng nhiệt hấp phụ				
STT	Mẫu than		K_L	q_{max} (mg.g^{-1})
1	Than AC		0.103	13,33
2	Than AC-K_2CO_3		0.324	60,60
3	Than AC-KOH		0.984	166,67
Khảo sát động học hấp phụ				
Nhiệt độ (K)	Động học biểu kiến bậc nhất		Động học biểu kiến bậc hai	
	R^2	k_1 (ph^{-1})	R^2	k_2 (g.mg^{-1}.ph^{-1})
303	0,8914	0,0024	0,9944	4,78.10^{-4}
313	0,9515	0,0036	0,9936	2,33.10^{-4}
323	0,9644	0,0031	0,9923	0,94.10^{-4}

Động học quá trình hấp phụ Rhodamin B trên loại than hoạt tính này được khảo sát theo hai mô hình:

+ Mô hình động học biểu kiến bậc nhất:

$$ln(q_e - q_t) = -k_1 t + lnq_e$$

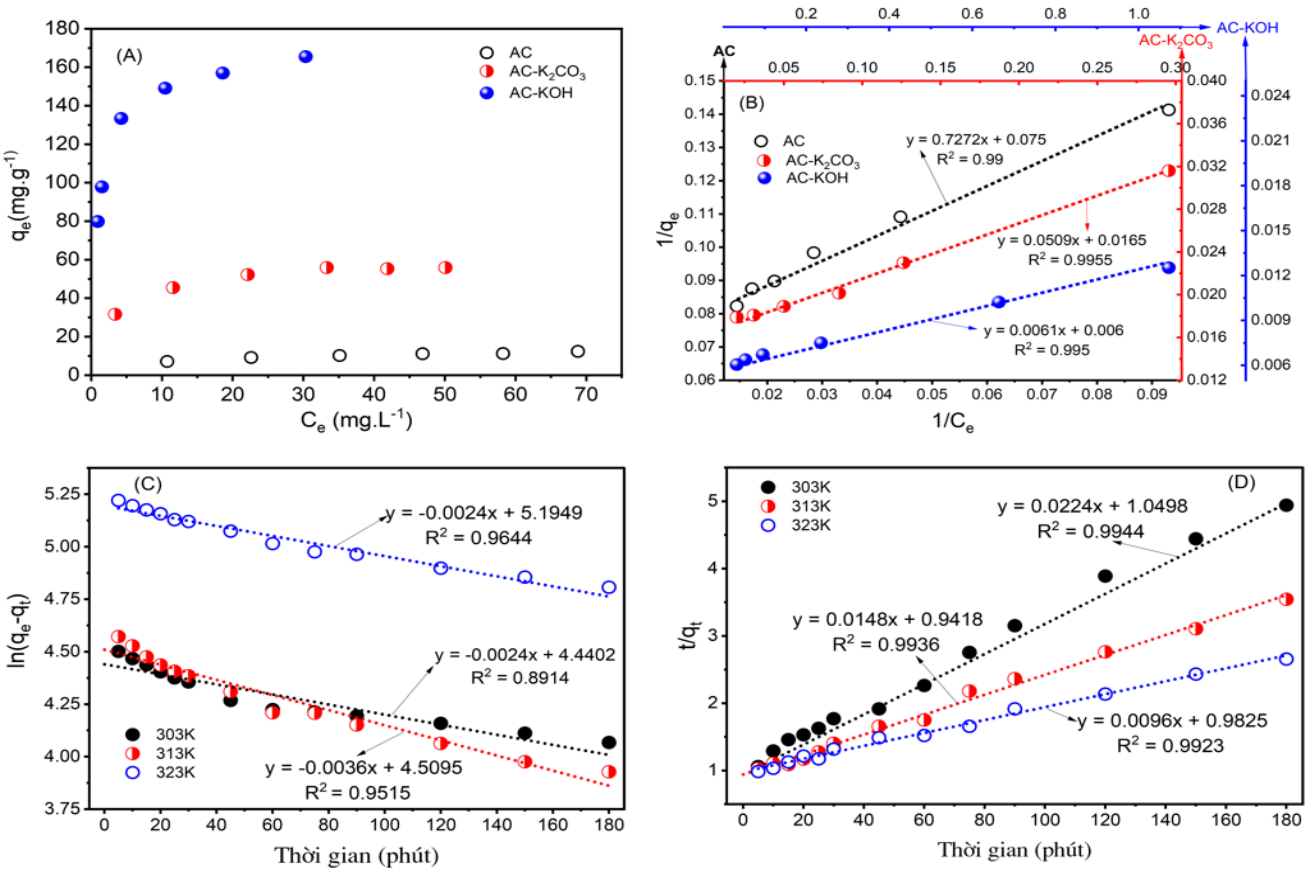
+ Mô hình động học biểu kiến bậc hai:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$$

Trong đó: q_e là dung lượng hấp phụ tại thời điểm cân bằng (mgg^{-1}); q_t là dung lượng hấp phụ tại thời điểm t (mgg^{-1}); k_1 là hằng số tốc độ hấp phụ biểu kiến bậc nhất (phút^{-1}); k_2 là hằng số tốc độ hấp phụ biểu kiến bậc hai (gmg^{-1}.phút^{-1})

Động học quá trình hấp phụ được khảo sát ở 303K, 313K và 323K theo động học hấp phụ biểu kiến bậc nhất và bậc hai được biểu thị trên hình 2.

Các thông số động học của quá trình hấp phụ được trình bày trên bảng 2. Với các giá trị R^2 lớn hơn cho thấy sự hấp phụ RhB trên than hoạt tính này tuân theo mô hình động học biểu kiến bậc hai.

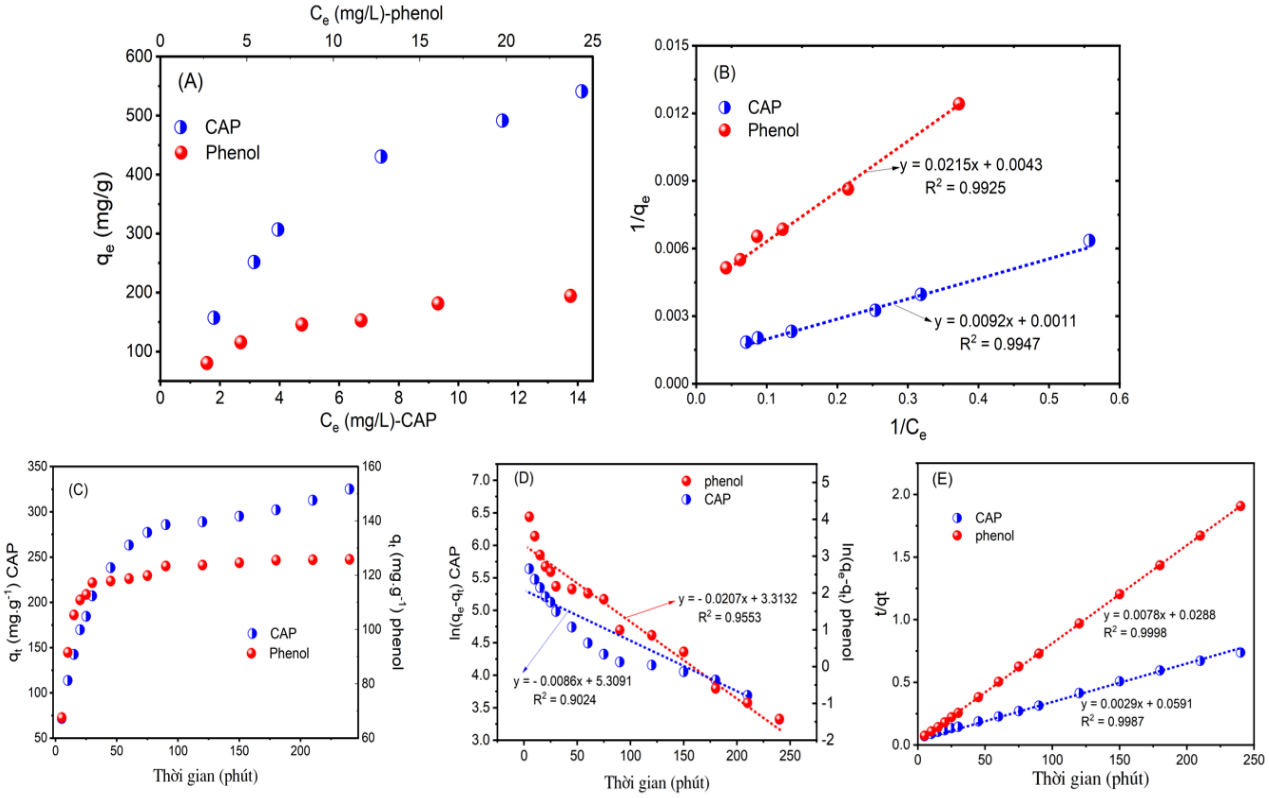


Hình 2: Dung lượng hấp phụ RhB trên các mẫu than hoạt tính (a), Mối quan hệ tuyến tính "1/qe-1Ce" (b) và động học biểu kiến bậc nhất (c) và bậc hai (d) ở ba nhiệt độ 303K, 313K và 323K quá trình hấp phụ RhB trên than hoạt tính AC-KOH

https://doi.org/10.62239/jca.2026.008

Nghiên cứu khả năng hấp phụ của than hoạt tính vỏ macca AC-KOH với Chloramphenicol (CAP) và phenol

Kết quả nghiên cứu đẳng nhiệt hấp phụ của AC-KOH với CAP và phenol được trình bày trên hình 3.a, đồ thị nghiên cứu sự tuyến tính "1/qe – 1/Ce" được trình bày trên hình 3.b. Từ hình 3.a có thể nhận thấy khả năng hấp phụ của than AC-KOH đối với CAP là rất tốt, đối với phenol thì độ hấp phụ kém hơn. Các kết quả tính toán thông số tuân theo phương trình Langmuir được xác định từ các đường tuyến tính "1/qe – 1/Ce" của hai đường đẳng nhiệt hấp phụ trên hình 3.b, với các giá trị R^2 đều lớn hơn 0,99. Giá trị các thông số rút ra từ phương trình đẳng nhiệt Langmuir cho thấy vật liệu này có khả năng hấp phụ rất tốt CAP với dung lượng hấp phụ cực đại 909,09 mgg^{-1}, còn đối với phenol là 232,56 mgg^{-1}. Vật liệu AC-KOH thể hiện tính hấp phụ tốt các chất hữu cơ như phenol hay CAP có thể do hình thành tương tác π-π giữa phân tử các chất bị ô nhiễm và bề mặt than. Dung lượng hấp phụ CAP lớn hơn nhiều so với phenol có thể ngoài tương tác kể trên, phân tử này còn thể hiện tính kị nước nên có ái lực tốt với bề mặt than, đồng thời cấu tạo đa nhóm chức trong phân tử có thể tạo tương tác với bề mặt than cũng đóng góp làm cho sự hấp phụ trở nên thuận lợi hơn. Các giá trị dung lượng hấp phụ chứng tỏ vật liệu chế tạo có khả năng hấp phụ tốt khi so sánh với một số nghiên cứu trước đây như than làm từ vỏ bưởi hoạt hóa bằng $KHCO_3$ cho dung lượng hấp phụ CAP là 549,5 $mg.g^{-1}$ [16], hay trong nghiên cứu khác, tác giả Joanna L. đã chỉ ra loại than hoạt tính thương mại Picabiol có dung lượng hấp phụ CAP cực đại 214,91 $mg.g^{-1}$ và than hoạt tính WG-12 sau biến tính CO_2 ở 800 °C đạt dung lượng hấp phụ cực đại 343,12 $mg.g^{-1}$ [17]. Đối với sự hấp phụ phenol, giá trị dung lượng hấp phụ của mẫu AC-KOH khá tương đồng với một số nghiên cứu trước đây như từ 214,13 – 246,31 $mg.g^{-1}$ tùy điều kiện hoạt hóa than của tác giả B. Xie [18] hay 268,9 $mg.g^{-1}$ trên loại than hoạt tính viên tạo từ đầu lọc thuốc lá [19].



Hình 3: Dung lượng đẳng nhiệt hấp phụ CAP, phenol (a) và Đồ thị biểu diễn tuyến tính "1/qe – 1/Ce" của hai đường đẳng nhiệt hấp phụ CAP, phenol (b) trên than AC-KOH

Bảng 3: Các thông số động học của quá trình hấp phụ CAP và phenol trên AC-KOH

	Chất bị hấp phụ	R^2	k.10^3	q_e TN (mgg^{-1})	q_e LT(mgg^{-1})	% sai số q_e
Bậc nhất	CAP	0,9024	8,6	352,92	202,17	42,71
	Phenol	0,9553	20,7	126,08	27,47	78,21
Bậc hai	CAP	0,9987	0,142	352,92	344.82	2,23
	Phenol	0,9998	2,113	126,08	128,21	1,69

https://doi.org/10.62239/jca.2026.008

Động học quá trình hấp phụ CAP và phenol trên mẫu than AC-KOH ở nhiệt độ 303K theo dõi sự biến thiên dung lượng hấp phụ chất ô nhiễm theo thời gian được trình bày trên hình 3.c đã chỉ ra vật liệu AC-KOH hấp phụ khá tốt cả hai chất ô nhiễm CAP và phenol. Tuy nhiên, với dung lượng hấp phụ bão hòa q_e lần lượt là 352,92 $mg.g^{-1}$ đối với CAP và 126,08 $mg.g^{-1}$ sự hấp phụ phenol nhanh chóng đạt bão hòa hơn, với các giá trị dung lượng hấp phụ ở 240 phút xấp xỉ với dung lượng hấp phụ bão hòa (24h) trong khi đó ở quá trình hấp phụ CAP dung lượng hấp phụ ở 240 phút thấp hơn nhiều so với ở thời điểm bão hòa.

Kết quả khảo sát theo động học bậc nhất (hình 3.d) cho thấy các điểm số liệu biểu diễn mối quan hệ giữa "$\ln(q_e-q_t)$-t " không thực sự tuyến tính với các giá trị R^2 cho độ tin cậy không cao với R^2 = 0,9024 đối với CAP và 0,9553 đối với phenol. Kết quả tính toán các giá trị động học từ phương trình động học bậc nhất trình bày trên bảng 3 cũng cho thấy các giá trị dung lượng hấp phụ cân bằng q_e tính toán từ phương trình tuyến tính (q_e LT) sai lệch khá nhiều so với giá trị thực nghiệm thu được (q_e TN).

Khi khảo sát theo động học bậc hai (hình 3.e) cho thấy các giá trị t/q_t tuyến tính với thời gian, cụ thể các giá trị R^2 = 0,9987 đối với CAP và 0,9998 đối với phenol. Các giá trị động học tính toán từ phương trình tuyến tính bậc hai biểu kiến được trình bày trên bảng 3 cho các giá trị dung lượng hấp phụ q_e LT gần đúng với giá trị q_e TN với các sai số lần lượt là 2,23% với CAP và 1,69% với phenol. Từ đó có thể kết luận, động học quá trình hấp phụ AC-KOH đối với CAP và phenol tuân theo động học biểu kiến bậc hai, kết quả này cũng tương tự như với quá trình hấp phụ RhodaminB.

Từ bảng 3 cũng có thể thấy, hằng số tốc độ quá trình hấp phụ phenol trên AC-KOH cao hơn nhiều so với quá trình hấp phụ CAP, với các giá trị hằng số tốc độ lần lượt là $2,113.10^{-3}$ $g.mg^{-1}.ph^{-1}$ (phenol) và $0,142.10^{-3}$ $g.mg^{-1}.ph^{-1}$ (CAP). Điều này lí giải cho các nồng độ C_t của quá trình hấp phụ phenol ở khoảng thời gian từ 180 phút đã xấp xỉ bằng nồng độ cân bằng C_e. Sự hấp phụ nhanh hơn đối với phenol so với CAP có thể được lý giải dựa trên kích thước của hai tiểu phân bị hấp phụ: phân tử phenol có cấu trúc nhỏ gọn hơn nên dễ dàng đi sâu vào trong bề mặt phía trong, các vi mao quản của than nên tốc độ hấp phụ nhanh hơn. Bên cạnh đó, các dung dịch phenol thường có pH thấp hơn pH_{PZC}, tạo điều kiện cho bề mặt vật liệu tích điện dương và dễ dàng hấp phụ anion $C_6H_5O^-$ cũng làm cho tốc độ hấp phụ tăng lên.

Kết luận

Trong nghiên cứu này, việc tổng hợp mẫu than hoạt hóa (AC) từ vỏ macca bằng phương pháp hoạt hóa hóa học với KOH và K_2CO_3 làm tác nhân hoạt hóa theo quy trình hai bước đã được khảo sát. Các mẫu than hoạt hóa thu được có diện tích bề mặt riêng lớn (988 $m^2.g^{-1}$ và 1599,73 $m^2.g^{-1}$), cấu trúc lỗ xốp chủ yếu là vi mao quản. Nghiên cứu yếu tố điểm đẳng điện cho thấy các yếu tố hoạt hóa không làm thay đổi nhiều giá trị pH_{PZC} của vật liệu, với giá trị này nằm trong khoảng 6,8-6,9.

Quá trình hấp phụ được thực hiện với RhodaminB cho thấy than hoạt hóa bằng KOH cho dung lượng hấp phụ cao vượt trội so với than gốc và than hoạt hóa bằng K_2CO_3, với q_{max} được tính toán theo phương trình Langmuir lên đến 166,67 mgg^{-1}. Mẫu than AC-KOH được khảo sát thêm sự hấp phụ CAP và phenol. Kết quả cho thấy AC-KOH hấp phụ rất tốt với q_{max} lần lượt là 232,56 mgg^{-1} và 909,09 mgg^{-1} đối với phenol và CAP.

Khảo sát động học cho thấy các chất ô nhiễm hữu cơ được hấp phụ trên than AC-KOH tuân theo mô hình động học bậc hai biểu kiến.

Tài liệu tham khảo

1. D.A. Yaseen, M. Scholz, Int. J. Environ. Sci. Technol., 16(3) (2019) 1193-1226. https://doi.org/10.1007/s13762-018-2130-z
2. K. Kümmerer, Chemosphere, 75(4) (2009) 417-434. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.11.086
3. K. Kümmerer, Chemosphere, 75(4) (2009) 435-441. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.12.006
4. A.J. Watkinson, E.J. Murby, S.D. Costanzo, Water Res., 41(18) (2007) 4164-4176. https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.04.005
5. G. Busca, S. Berardinelli, C. Resini, L. Arrighi, J. Hazard. Mater., 160(2-3) (2008) 265-288. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.03.045
6. M. Duque-Acevedo, L.J. Belmonte-Ureña, F.J. Cortés-García, F. Camacho-Ferre, Global Ecol. Conserv., 22 (2020) e00902. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00902
7. O.A. Habeeb, R. Kanthasamy, S.E.M. Saber, O.A. Olalere, Mater. Today Proc., 20 (2020) 588-594. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.194
8. J. Zhu, Y. Li, L. Xu, Z. Liu, Ecotoxicol. Environ. Saf., 165 (2018) 115-125. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.105
9. L.S. Queiroz, L.K.C. de Souza, K.T.C. Thomaz, J. Environ. Manage., 270 (2020) 110868. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110868
10. A. Ahmadpour, D.D. Do, Carbon, 35(12) (1997) 1723-1732. https://doi.org/10.1016/S0008-6223(97)00127-9

11. L.A. Rodrigues, L.A. de Sousa Ribeiro, G.P. Thim, R.R. Ferreira, M.O. Alvarez-Mendez, A.d.R. Coutinho, J. Porous Mater., 20(3) (2013) 619-627. https://doi.org/10.1007/s10934-012-9635-5
12. T. Pongsak, M. Phalaiphai, W. Wonglertarak, M. Khowattana, B. Wichitsathian, J. Yimrattanabovorn, J. Ecol. Eng., 26(2) (2025) 65-81. https://doi.org/10.12911/22998993/208436
13. M.V. Lopez-Ramon, F. Stoeckli, C. Moreno-Castilla, F. Carrasco-Marin, Carbon, 37(8) (1999) 1215-1221. https://doi.org/10.1016/S0008-6223(98)00317-0
14. American Public Health Association (APHA), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Edition, Washington DC (1992) 9221.
15. J.M. Illingworth, B. Rand, P.T. Williams, Fuel Process. Technol., 235 (2022) 107348. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107348
16. H. Li, H. Zhu, J. Qiu, D. Zheng, L. Gao, D. Zhou, D. Xu, New J. Chem., 48(15) (2024) 7081-7091. https://doi.org/10.1039/D3NJ05838G
17. J. Lach, Water, 11(6) (2019) 1141. https://doi.org/10.3390/w11061141
18. B. Xie, J. Qin, S. Wang, X. Li, H. Sun, W. Chen, Int. J. Environ. Res. Public Health, 17(3) (2020) 789. https://doi.org/10.3390/ijerph17030789
19. N.A. Medellín-Castillo, R. Ocampo-Pérez, A. Forgionny, G.J. Labrada-Delgado, A.I. Zárate-Guzmán, S.A. Cruz-Briano, R. Flores-Ramírez, Processes, 9(6) (2021) 934. https://doi.org/10.3390/pr9060934