

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐIỀU KIỆN BIẾN TÍNH BỀ MẶT CARBON HOẠT TÍNH BẰNG OXIDE SẮT ĐẾN ĐẶC TRƯNG VÀ KHẢ NĂNG HẤP PHỤ CHLORIDE TRONG DUNG DỊCH NƯỚC CỦA VẬT LIỆU BIẾN TÍNH

Nguyễn Đức Vũ Quyên^{1*}, Lê Thị Hòa¹, Hồ Thị Thùy Dung²

¹Khoa Hóa học, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

²Khoa Cao đẳng, Trường Đại học Y dược, Đại học Huế

*Email: ndvquyen@hueuni.edu.vn

Ngày nhận bài: 23/02/2026; ngày hoàn thành phản biện: 27/02/2026; ngày duyệt đăng: 18/3/2026

TÓM TẮT

Trong bài báo này, các điều kiện biến tính thích hợp bề mặt vật liệu carbon hoạt tính tổng hợp từ lõi ngô bằng oxide sắt đã được xác định dựa trên khả năng hấp phụ hiệu quả chloride trong dung dịch nước. Các đặc trưng vật liệu sau khi biến tính được đánh giá thông qua những phương pháp phân tích hóa lý hiện đại như nhiễu xạ tia X (XRD), phổ Raman, hiển vi điện tử quét (SEM), hiển vi điện tử truyền qua (TEM), phân tích nhiệt (DTA), hấp phụ và khử hấp phụ nitrogen (BET). Các kết quả về đặc trưng vật liệu đã chứng minh sự có mặt và dạng tồn tại của oxide sắt trong vật liệu carbon hoạt tính sau khi biến tính và với hàm lượng sắt trên bề mặt vật liệu carbon hoạt tính 4,11% (w/w) đã thể hiện khả năng hấp phụ chloride trong dung dịch nước tốt hơn nhiều so với vật liệu carbon hoạt tính nguyên bản.

Từ khóa: carbon hoạt tính, oxide sắt, hấp phụ, chloride, lõi ngô, FeO_x/AC.

1. GIỚI THIỆU

Phương pháp hấp phụ để loại bỏ chất ô nhiễm sử dụng vật liệu thân thiện với môi trường đang nổi lên như một giải pháp thay thế đầy hứa hẹn nhờ quy trình đơn giản, chi phí thấp và không yêu cầu tiền xử lý phức tạp. Trong đó, carbon hoạt tính (AC) là lựa chọn hàng đầu nhờ diện tích bề mặt lớn và tính an toàn sinh học. AC có thể được tổng hợp từ đa dạng các loại phế phụ phẩm nông nghiệp như rơm rạ, bã mía, vỏ trấu... [1], [2], [3]. Đặc biệt, lõi ngô – một nguồn phế thải dồi dào có độ xốp cao thường bị bỏ phí – chính là nguồn nguyên liệu tiềm năng để sản xuất AC phục vụ xử lý môi trường.

Mặc dù vậy, quá trình hoạt hóa carbon hoạt tính bằng acid kết hợp nhiệt để làm tăng diện tích bề mặt vật liệu nhưng lại thường làm bề mặt vật liệu tích điện âm bởi sự

hình thành các nhóm chức OH, COO⁻ trên bề mặt. Do vậy việc hấp phụ các ion âm như Cl⁻ thường ít hiệu quả vì tương tác đẩy giữa bề mặt AC và Cl⁻. Do vậy, việc biến tính bề mặt AC là một yêu cầu cần thiết. Một vài nghiên cứu cho thấy oxide sắt có nhiều ưu điểm như không gây ô nhiễm thứ cấp, liên kết chặt chẽ trên bề mặt AC, tạo ra các tâm hấp phụ đặc hiệu để thực hiện quá trình trao đổi ion hoặc tạo phức với Cl⁻ [4], [5]. Từ đó, nghiên cứu biến tính bề mặt AC bằng một lượng nhỏ oxide sắt là một ý tưởng được chú ý để cải thiện khả năng hấp phụ các ion âm.

Trong bài báo này các điều kiện biến tính bề mặt vật liệu AC bằng oxide sắt được khảo sát. Hàm mục tiêu để lựa chọn hàm lượng oxide sắt trên vật liệu biến tính và nhiệt độ biến tính là khả năng hấp phụ chloride. Đặc trưng của vật liệu AC tổng hợp từ lõi ngô và sau khi được biến tính bề mặt bằng oxide sắt đã được làm rõ và so sánh.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Hóa chất

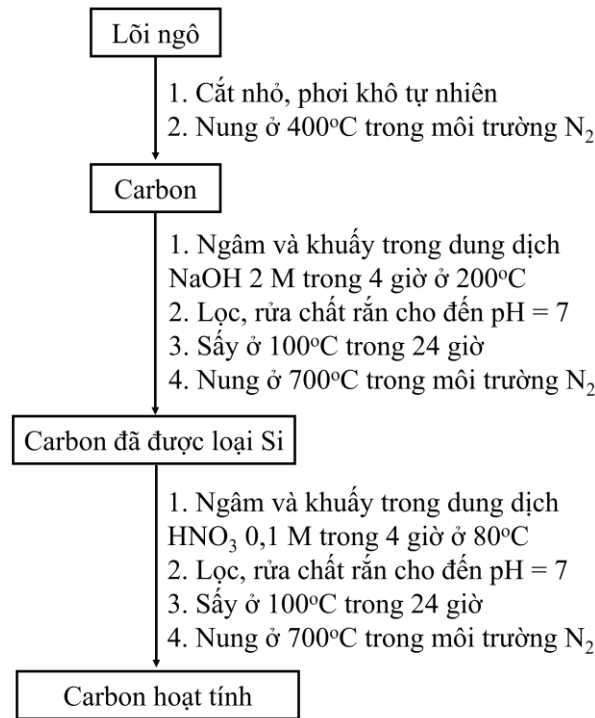
Lõi ngô sử dụng cho quá trình tổng hợp AC được thu thập ở phường Kim Long, thành phố Huế. Các hóa chất tinh khiết dùng trong nghiên cứu gồm HNO₃ 65%, NaOH, muối Mohr (NH₄)₂Fe(SO₄)₂.6H₂O, NaCl, khí N₂ được sản xuất ở Trung Quốc.

2.2. Thiết bị

Phân tích XRD được thực hiện trên máy nhiễu xạ tia X RINT2000/PC (Rigaku, Nhật Bản) với $\lambda_{CuK\alpha} = 1,5406 \text{ \AA}$. Phổ Raman được phân tích trên máy RAM HR800 (hãng Horiba). Phân tích nhiệt được thực hiện trên thiết bị Labsys TG/DSC SETARAM (Pháp). Ảnh SEM và TEM được ghi lại trên thiết bị hiển vi điện tử S-4800 (Hitachi, Nhật Bản). Diện tích bề mặt riêng BET được xác định trên máy Micromeritics ASAP 2020. Thí nghiệm tổng hợp và biến tính vật liệu carbon hoạt tính được thực hiện trong lò nung môi trường khí N₂.

2.3. Tổng hợp vật liệu carbon hoạt tính

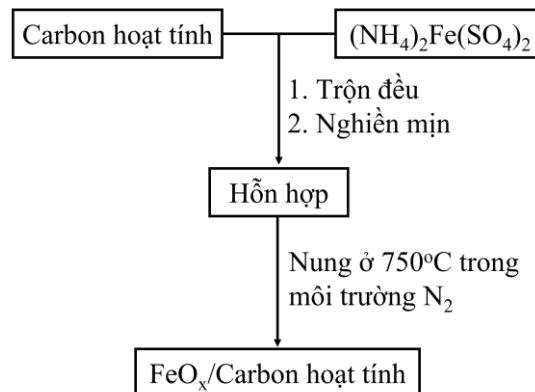
Lõi ngô trước khi được carbon hóa ở 400°C trong môi trường khí N₂ đã được sơ chế bằng cách rửa sạch, cắt nhỏ và phơi khô tự nhiên [6]. Sau đó, carbon lõi ngô được ngâm, khuấy và nấu ở 200°C trong dung dịch NaOH 2 M trong 4 giờ. Vật liệu sau đó được rửa sạch bằng nước cất nhiều lần cho đến pH trung tính, sấy ở 100°C trong 24 giờ và nung hoạt hóa ở 700°C trong môi trường khí N₂ trong 1 giờ. Quá trình hoạt hóa tiếp theo được thực hiện với tác nhân hoạt hóa là dung dịch HNO₃, carbon lõi ngô được ngâm, khuấy trong dung dịch HNO₃ 0,1 M trong 4 giờ ở nhiệt độ 80°C. Vật liệu carbon hoạt tính thu được sau khi lọc lấy, rửa sạch chất rắn sau khi ngâm trong dung dịch HNO₃ bằng nước cất cho đến pH trung tính, sấy ở 100°C trong 24 giờ và nung hoạt hóa ở 700°C trong môi trường khí N₂ trong 1 giờ [6].



Hình 1. Quy trình tổng hợp carbon hoạt tính từ lõi ngô.

2.4. Biến tính bề mặt vật liệu carbon hoạt tính

Quy trình biến tính bề mặt vật liệu carbon hoạt tính bằng oxide sắt (FeO_x/AC) được thực hiện như trình bày ở hình 2. Muối Mohr là nguồn sắt được sử dụng. Vật liệu carbon hoạt tính được trộn đều với muối rắn (NH₄)₂FeSO₄.6H₂O với hàm lượng xác định. Hỗn hợp được nghiền mịn và trộn thật đều trước khi nung trong môi trường khí N₂ ở 750°C trong 1 giờ với tốc độ gia nhiệt 5°C/phút để thu được vật liệu FeO_x/AC [6].



Hình 2. Quy trình biến tính bề mặt vật liệu carbon hoạt tính.

2.5. Các phương pháp thực nghiệm

Phương pháp Mohr được sử dụng để xác định hàm lượng chloride trong nước với chất chuẩn là dung dịch AgNO₃ với chỉ thị màu là K₂CrO₄. Phản ứng tạo kết tủa AgCl

xảy ra trước, sau đó, khi hết ion Cl^- , ion Ag^+ dư sẽ phản ứng với chỉ thị tạo kết tủa Ag_2CrO_4 màu đỏ gạch (tín hiệu điểm tương đương).

Thí nghiệm khảo sát khả năng hấp phụ chloride của vật liệu: Bình tam giác 100 mL chứa 20 mL dung dịch NaCl nồng độ 50 mg/L được khuấy đều với 0,1 g FeO_x/AC trong 3 giờ. pH của dung dịch khoảng 6,8-7. Nồng độ chloride được xác định sau quá trình hấp phụ. Hiệu suất hấp phụ được xác định dựa vào công thức (1).

$$H(\%) = \frac{m_{\text{Cl}^- \text{ sau hấp phụ}}}{m_{\text{Cl}^- \text{ ban đầu}}} \cdot 100 \quad (1)$$

Thí nghiệm hấp phụ được lặp lại 3 lần để đánh giá độ lặp lại của số liệu thực nghiệm.

Thí nghiệm xác định thời gian đạt cân bằng hấp phụ được thực hiện trong cốc 500 mL chứa 250 mL dung dịch NaCl 50 mg/L được khuấy đều với vật liệu FeO_x/AC với liều lượng 5g/L. Cứ mỗi 10 phút, 10 mL hỗn hợp rắn lỏng trong cốc được lấy ra và thực hiện quá trình chuẩn độ dung dịch để xác định nồng độ NaCl còn lại trong dung dịch.

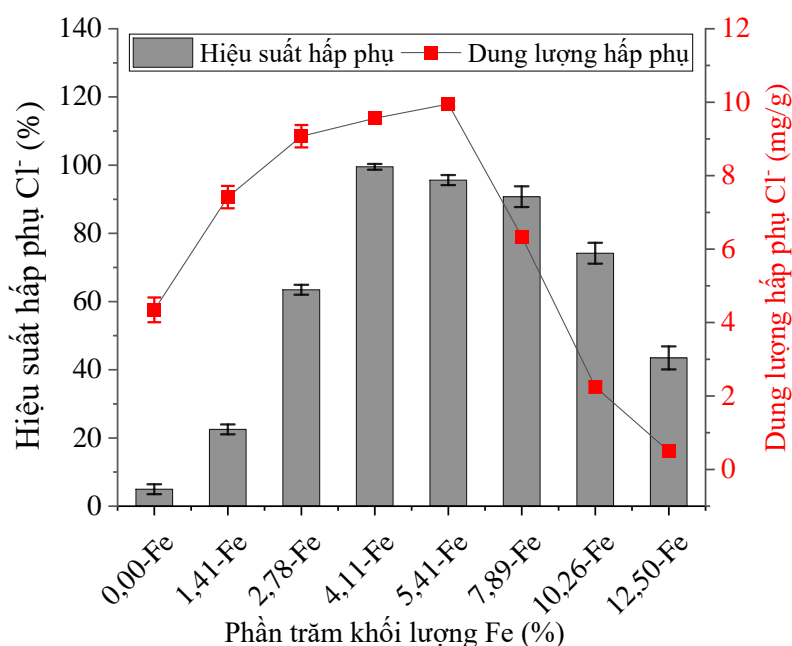
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Nghiên cứu biến tính vật liệu carbon hoạt tính

3.1.1. Ảnh hưởng của hàm lượng sắt trong vật liệu carbon hoạt tính sau khi biến tính bề mặt

Kết quả ở hình 3 cho thấy việc biến tính bề mặt AC bằng oxide sắt đã tạo ra một vật liệu nanocomposite có khả năng xử lý ion Cl^- trong nước vượt trội so với vật liệu AC chưa biến tính, tuy nhiên không phải cứ càng nhiều oxide sắt được phủ trên bề mặt AC thì càng tốt.

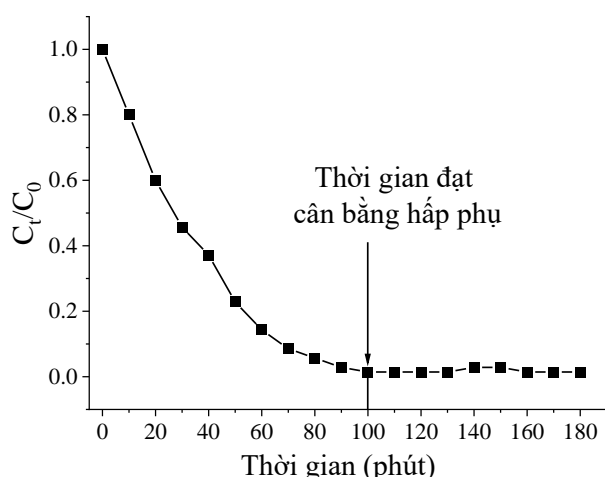
Rõ ràng, vật liệu AC nguyên bản thể hiện khả năng hấp phụ Cl^- rất thấp (chỉ 4,93%), điều này có thể dự đoán diện tích bề mặt lớn của vật liệu AC không phải là yếu tố quyết định đến hiệu quả hấp phụ Cl^- . Nguyên nhân có thể do sự đẩy tĩnh điện giữa bề mặt carbon hoạt tính sau khi hoạt hóa thường tồn tại các nhóm chức chứa oxy như carboxyl ($-\text{COOH}$), hydroxyl ($-\text{OH}$). Trong môi trường nước có pH trung tính hoặc kiềm, các nhóm chức này thường bị khử proton và mang điện tích âm, tạo ra một hàng rào tĩnh điện ngăn cản sự tiếp cận của các ion Cl^- . Ngoài ra, ion Cl^- trong dung dịch không tồn tại dạng hạt trần trụi mà luôn được bao quanh bởi một lớp vỏ hydrate hóa, làm tăng kích thước hiệu dụng của ion Cl^- , khiến nó khó len lỏi vào các vi lỗ rỗng của carbon hoạt tính.



Hình 3. Hiệu suất hấp phụ và dung lượng hấp phụ Cl⁻ của vật liệu AC được biến tính với những phần trăm khối lượng Fe khác nhau.

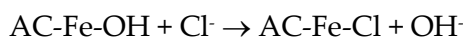
Khi hàm lượng Fe tăng từ 1,41% lên 4,11%, hiệu suất hấp phụ nhảy vọt từ 22,49% lên 99,51%. Điều này cho thấy vai trò chủ đạo của các hạt nano oxide sắt trên bề mặt AC. Với hàm lượng Fe là 4,11%, các hạt nano oxide sắt bao phủ tối ưu bề mặt carbon mà không làm bít tắc hệ thống mao quản của vật liệu nền, do vậy, hiệu suất hấp phụ đạt rất cao. Sau đó, hiệu suất giảm dần và giảm mạnh xuống còn 43,45% khi hàm lượng Fe lên tới 12,50%. Điều này có thể được giải thích bằng “hiệu ứng che lấp”, quá nhiều oxide sắt dẫn đến hiện tượng kết tụ của các hạt nano, các hạt dư thừa sẽ lấp đầy hoặc chặn các lỗ rỗng của carbon hoạt tính, làm giảm tổng diện tích bề mặt tiếp xúc, dẫn đến khả năng bắt giữ ion kém. Bên cạnh đó, sự tập trung quá nhiều oxide sắt trên bề mặt AC sẽ tạo ra các đám oxide thay vì phân bố đồng đều, làm giảm các tâm hấp phụ. Do vậy, hàm lượng Fe thích hợp để biến tính vật liệu AC là 4,11%. Với hàm lượng Fe này, dung lượng hấp phụ của vật liệu thu được đạt cực đại (9,95 mg/g) so với những vật liệu chứa hàm lượng Fe khác. Độ lặp lại của khả năng hấp phụ của vật liệu khá tốt, thể hiện ở độ lệch chuẩn của giá trị hiệu suất hấp phụ ở các thí nghiệm lặp 3 lần đều rất nhỏ.

Thời gian đạt cân bằng hấp phụ đã được chứng minh bằng thực nghiệm như trình bày ở hình 4. Kết quả cho thấy thời gian đạt cân bằng hấp phụ của vật liệu AC biến tính là 110 phút đối với nồng độ ban đầu của dung dịch NaCl là 50 mg/L và liều lượng vật liệu hấp phụ là 5 g/L. Trong tất cả các thí nghiệm, thời gian hấp phụ được thực hiện là 3 giờ để đảm bảo hệ đạt trạng thái cân bằng trong mọi trường hợp.



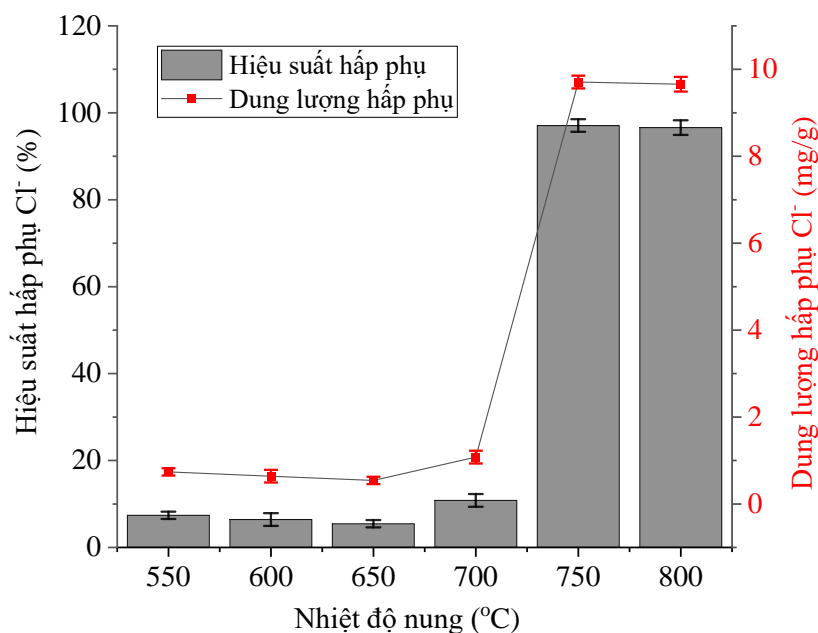
Hình 4. Ảnh hưởng của thời gian đến nồng độ NaCl trong dung dịch sau hấp phụ.

Cơ chế của quá trình hấp phụ Cl^- lên các tâm hấp phụ trên bề mặt vật liệu AC được đề xuất là tương tác tĩnh điện hoặc trao đổi ion [7].



Quá trình trao đổi ion này đã làm tăng pH của dung dịch sau hấp phụ. Kết luận này đã được chứng minh qua thí nghiệm đo pH của dung dịch trước hấp phụ (6,8) và sau hấp phụ (7,5) với nồng độ NaCl thử nghiệm là 50 mg/L và liều lượng vật liệu hấp phụ là 5 g/L. Liên kết Fe-OH bị làm yếu hơn trong dung dịch có hàm lượng Cl^- cao do lượng lớn các ion Cl^- bao vây Fe.

3.1.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ biến tính



Hình 5. Hiệu suất hấp phụ và dung lượng hấp phụ Cl^- của vật liệu 4,11FeO_x/AC được tổng hợp ở những nhiệt độ nung khác nhau.

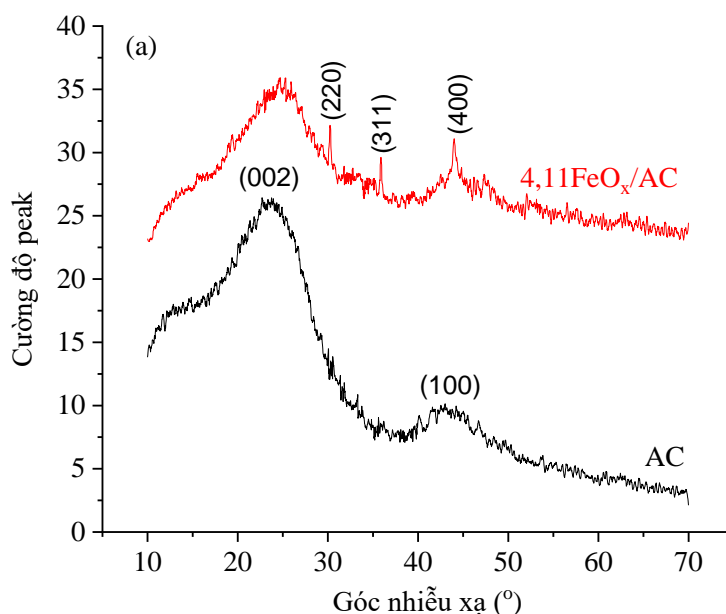
Hình 5 thể hiện nhiệt độ nung phù hợp sẽ làm tăng mạnh khả năng hấp phụ Cl^- của vật liệu $4,11\text{FeO}_x/\text{AC}$. Ở các nhiệt độ nung dưới 750°C , hiệu suất hấp phụ rất thấp ($< 10\%$), nhưng khi nung vật liệu ở nhiệt độ 750 và 800°C , hiệu suất hấp phụ tăng mạnh và hấp phụ hầu như toàn bộ Cl^- có trong dung dịch chứa 50 mg NaCl/L . Kết quả này cho thấy với nhiệt độ nung 700°C và thấp hơn, muối Mohrs không phân hủy tạo oxide sắt - tác nhân chính làm tăng khả năng hấp phụ Cl^- . Trong điều kiện trơ (N_2), muối Mohr bị nhiệt phân tạo oxide FeO . Tuy nhiên, một phần FeO sẽ phản ứng với O_2 tạo thành sau phản ứng nhiệt phân để tạo Fe_2O_3 . Do vậy chúng tôi biểu diễn dạng tồn tại của Fe trên bề mặt AC là FeO_x .

Kết luận rằng ở nhiệt độ 750°C là thích hợp để biến tính vật liệu AC để tạo vật liệu FeO_x/AC có khả năng hấp phụ Cl^- tốt.

3.2. Đặc trưng vật liệu $4,11\text{FeO}_x/\text{AC}$

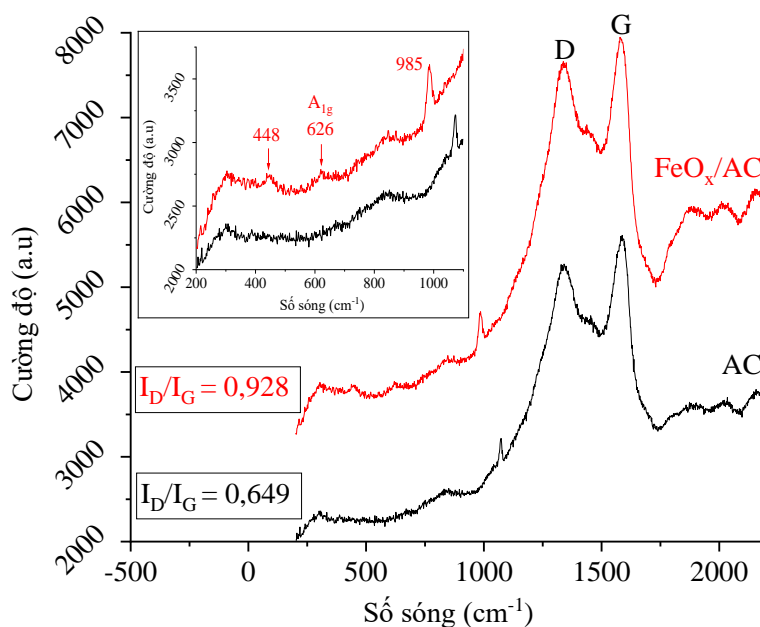
3.2.1. Thành phần pha và khuyết tật trong cấu trúc vật liệu

Dựa trên kết quả nhiễu xạ tia X (hình 6), cấu trúc của $4,11\text{FeO}_x/\text{AC}$ cho thấy sự kết hợp rõ rệt giữa pha vô định hình và pha tinh thể. Cụ thể, các cực đại nhiễu xạ tại $30,3^\circ$; $35,8^\circ$ và $43,9^\circ$ phản ánh sự hiện diện của các mặt tinh thể (220), (311) và (400) có thể thuộc cấu trúc spinel của Fe_3O_4 hoặc $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Song song với đó, các vùng tín hiệu trải rộng đặc trưng cho carbon hoạt tính (mặt mạng (002) và (100)) tại các khoảng góc $20\text{-}26^\circ$ và $41\text{-}45^\circ$ vẫn được duy trì so với mẫu AC nguyên bản [7]. Kết quả này là bằng chứng thực nghiệm quan trọng xác nhận việc đưa thành công các hạt nano FeO_x lên bề mặt khung carbon hoạt tính.



Hình 6. Giản đồ XRD của vật liệu AC và $4,11\text{FeO}_x/\text{AC}$.

Hình 7 trình bày phổ Raman của vật liệu, cho thấy sự thay đổi về độ trật tự cấu trúc AC sau khi biến tính bằng oxide sắt. Hai cực đại đặc trưng xuất hiện tại 1337 cm^{-1} (vạch D) và 1589 cm^{-1} (vạch G) lần lượt tương ứng với sự mất trật tự và cấu trúc graphite của carbon. Thông qua việc so sánh tỷ lệ cường độ I_D/I_G , có thể nhận thấy mức độ khuyết tật của hệ FeO_x/AC đã tăng lên so với nền AC ban đầu. Sự gia tăng chỉ số I_D/I_G xác nhận rằng các hạt nano FeO_x đã phân tán và gây ra các sai hỏng cục bộ trên mạng lưới carbon. So với AC, có 3 peak mới đã xuất hiện trên phổ Raman của vật liệu FeO_x/AC ở các số sóng 448 , 626 và 985 cm^{-1} là những tín hiệu gợi ý sự có mặt của pha tinh thể oxide sắt có cấu trúc spinel [8], có thể là của pha tinh thể Fe_3O_4 hoặc/và $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Tuy nhiên, với những hạn chế của phương pháp XRD và Raman, loại oxide sắt vẫn chưa được xác định chính xác. Peak ở 985 cm^{-1} tương ứng với liên kết S-O do nguyên liệu được sử dụng để phân bố oxide sắt trên bề mặt AC là muối Mohr [9].



Hình 7. Phổ Raman của vật liệu AC và FeO_x/AC .

3.2.2. Diện tích bề mặt của vật liệu

Kết quả phân tích diện tích bề mặt BET của vật liệu AC sau khi biến tính (trình bày ở bảng 1) cho thấy một xu hướng giảm rõ rệt khi tăng hàm lượng Fe trong vật liệu. Sự sụt giảm từ $422,61\text{ m}^2/\text{g}$ xuống còn $209,77\text{ m}^2/\text{g}$ tương ứng với sự gia tăng hàm lượng Fe từ $1,41\%$ đến $7,89\%$ có thể do các hạt nano sắt đã lấp đầy một phần cấu trúc mao quản của carbon nền. Đặc biệt, tại hàm lượng $2,78\%$ - $4,11\%$ Fe, diện tích bề mặt duy trì sự ổn định, phản ánh trạng thái phân tán tối ưu của các hạt từ tính trên khung carbon trước khi xảy ra hiện tượng kết tụ ở các hàm lượng cao hơn. Sau đó, diện tích bề mặt BET tiếp tục dốc xuống đáng kể.

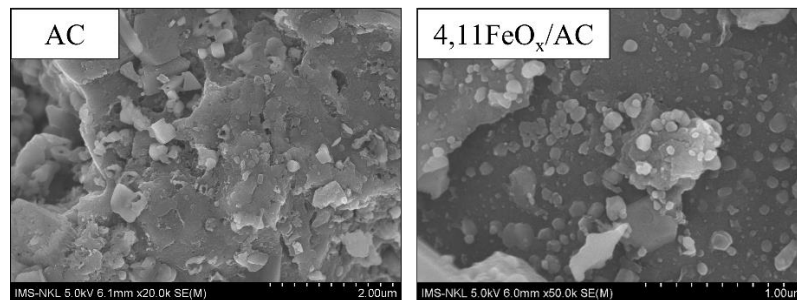
Bảng 1. Diện tích bề mặt BET của các vật liệu AC và FeO_x/AC

Mẫu	AC	1,41FeO _x /AC	2,78FeO _x /AC
S _{BET} (m ² /g)	422,61	283,95	270,86
Mẫu	4,11FeO _x /AC	5,41FeO _x /AC	7,89FeO _x /AC
S _{BET} (m ² /g)	270,93	256,56	209,77

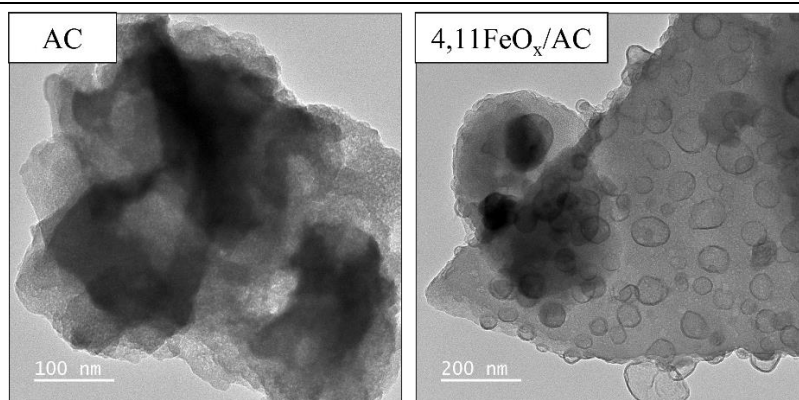
Liên hệ lại với khả năng hấp phụ Cl⁻ (như trình bày ở mục 3.1.1) trong hệ vật liệu này không phụ thuộc hoàn toàn vào diện tích bề mặt (hấp phụ vật lý) mà phụ thuộc chủ yếu vào số lượng tâm hoạt động hóa học (Fe-OH) được tạo ra. Hiệu suất hấp phụ Cl⁻ của vật liệu 4,11FeO_x/AC đạt cực đại với 98,54% khi sử dụng liều lượng vật liệu là 5 g/L và nồng độ NaCl là 50 mg/L. Tuy nhiên, khi hàm lượng sắt quá cao (như 5,41% và 7,89%), diện tích bề mặt bị giảm quá sâu đồng thời với sự kết tụ hạt đã làm che lấp cả các tâm hoạt động này, khiến hiệu suất hấp phụ sụt giảm.

3.2.3. Hình thái học vật liệu

Hình thái học của AC và tổ hợp 4,11FeO_x/AC được làm rõ thông qua ảnh SEM ở hình 8. Kết quả cho thấy nền carbon vẫn duy trì được mạng lưới lỗ rỗng đặc trưng, đồng thời ghi nhận sự hiện diện của các hạt FeO_x phân tán khá đồng nhất trên bề mặt. Các hạt FeO_x này tồn tại ở kích thước nano, dao động trong khoảng 30–70 nm. Sự phân bố đều đặn này một lần nữa được xác nhận qua quan sát trực quan từ ảnh TEM (hình 9). Chính kích thước hạt nhỏ trong phạm vi nano meter đã gia tăng diện tích tiếp xúc, từ đó tối ưu hóa khả năng tương tác và thúc đẩy hiệu suất hấp phụ Cl⁻ của các tâm hoạt tính trên bề mặt vật liệu.



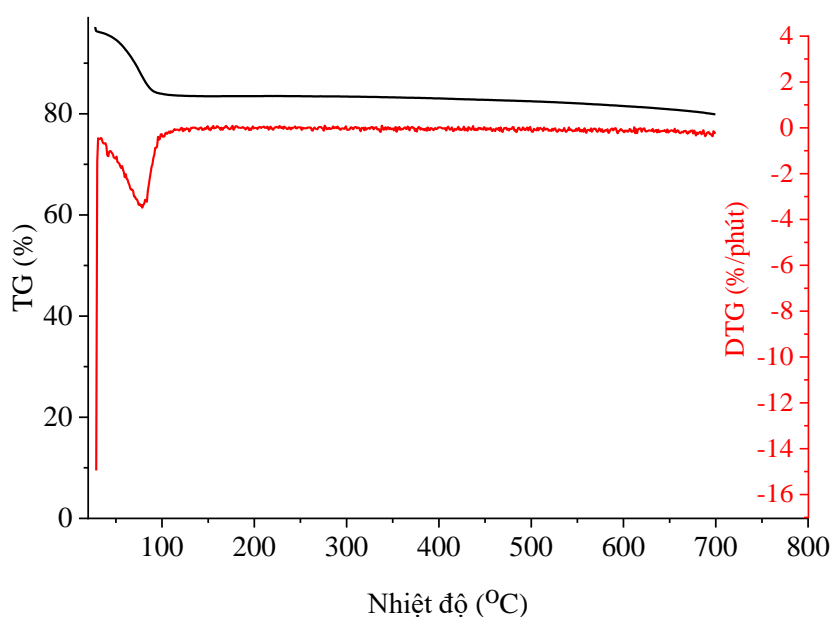
Hình 8. Ảnh SEM vật liệu AC và 4,11FeO_x/AC.



Hình 9. Ảnh TEM của vật liệu AC và 4,11FeO_x/AC.

3.2.4. Các quá trình phân hủy nhiệt của vật liệu

Giản đồ TG/DTG của vật liệu 4,11FeO_x/AC trình bày ở hình 10 cho thấy quá trình mất khối lượng rõ rệt nhất được phát hiện ở nhiệt độ dưới 120°C, đường TG dốc xuống và đường DTG xuất hiện một peak cực đại tại khoảng 80°C - 100°C. Quá trình này được xác định là quá trình bay hơi của nước vật lý (nước hấp phụ) và các dung môi dễ bay hơi bám trong hệ thống lỗ rỗng xốp của carbon hoạt tính. Khối lượng giảm khoảng 17% trong giai đoạn này. Giai đoạn tiếp theo từ 120-600°C, đường TG gần như đi ngang và đường DTG duy trì ở mức xấp xỉ 0, điều này chứng tỏ vật liệu có độ bền nhiệt rất cao trong môi trường khảo sát. Các nhóm chức bề mặt hoặc khung carbon đã ổn định sau quá trình nung ở nhiệt độ cao. Ở nhiệt độ trên 600°C, đường TG có xu hướng hơi dốc xuống rất nhẹ, có thể là sự bắt đầu của quá trình phân hủy các nhóm chức chứa oxy bền nhiệt hơn.



Hình 10. Giản đồ TG/DTG của vật liệu 4,11FeO_x/AC.

4. KẾT LUẬN

Vật liệu AC đã được biến tính thành công để tạo vật liệu tổ hợp FeO_x/AC trong điều kiện thích hợp gồm phần trăm khối lượng Fe là 4,11% và nhiệt độ biến tính là 750°C. Trong điều kiện này, sự hiện diện của pha tinh thể Fe₃O₄, γ-Fe₂O₃ và pha vô định hình của AC đã được khẳng định thông qua phân tích nhiễu xạ tia X và phổ Raman, sự có mặt của FeO_x trên bề mặt AC cũng đã tạo ra những khuyết tật bề mặt đáng kể, diện tích bề mặt BET vật liệu khá cao (270,93 m²/g), cấu trúc vật liệu không bị phá vỡ ở nhiệt độ trên 750°C, kích thước nano của hạt FeO_x (30-70 nm) là một yếu tố thúc đẩy khả năng hấp phụ Cl⁻ trong dung dịch nước và điểm PZC của vật liệu 4,11FeO_x/AC đã được xác định là 7,23. Vật liệu AC sau khi biến tính bằng FeO_x có khả năng hấp phụ hiệu quả Cl⁻ trong dung dịch chứa 50 mg NaCl/L với hiệu suất hấp phụ đạt trên 99% khi sử dụng liều lượng vật liệu 5 g/L.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Obregón-Valencia D, del Rosario Sun-Kou M. (2014). Comparative cadmium adsorption study on activated carbon prepared from aguaje (*Mauritia flexuosa*) and olive fruit stones (*Olea europaea* L.). *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 2, no. 4, pp. 2280-2288.
- [2] Zhang X., Hao Y., Wang X., Chen Z. (2017). Adsorption of iron (III), cobalt (II), and nickel (II) on activated carbon derived from *Xanthoceras Sorbifolia* Bunge hull: mechanisms, kinetics and influencing parameters. *Water Science Technology*, vol. 75, no. 8, pp. 1849-1861.
- [3] Farma R., Fadilah R., Awitdrus, Sari M.K., Taer E., Saktioto, Deraman M. (2018). Corn cob based activated carbon preparation using microwave assisted potassium hydroxide activation for sea water purification. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*, 1120, 012017.
- [4] Han T., Lu X., Sun Y., Jiang J., Yang W., Jönsson P.G. (2019). Magnetic bio-activated carbon production from lignin via a streamlined process and its use in phosphate removal from aqueous solutions. *Science of the Total Environment*, 2019.
- [5] Jolivet J-P., Cassaignon S., Chanéac C., Chiche D., Durupthy O., Portehault D. (2010). Design of metal oxide nanoparticles: control of size, shape, crystalline structure and functionalization by aqueous chemistry. *C. R. Chimie*, vol. 13, pp. 40-51.
- [6] Nguyễn Hồ Ngọc Thư, Phan Thị Uyên Phương, Nguyễn Hòa Hưng, Bùi Thị Hoàng Diễm, Nguyễn Đức Vũ Quyên. (2025). Biến tính bề mặt vật liệu carbon hoạt tính tổng hợp từ lõi ngô bằng oxide sắt và ứng dụng giảm độ mặn của nước biển, nước lợ. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế*, tập 31, số 2, trang 15-26.
- [7] Takeda M., Onishi T., Nakakubo S., Fujimoto S. (2009), Physical Properties of Iron-Oxide Scales on Si-Containing Steels at High Temperature. *Materials Transactions*, Vol. 50, No. 9, pp. 2242 to 2246.
- [8] Hai N.V., Phu N.D., Luong N.H., Chau N. (2008), Mechanism for sustainable magnetic nanoparticles under ambient conditions. *Journal of the Korean Physical Society*, vol. 52, No. 5, pp. 1327-1331.
- [9] Nakamoto K (2008), *Infrared and Raman spectra of inorganic and coordination compounds: Part A: Theory and applications in inorganic chemistry*. John Wiley & Sons, Inc.

**EFFECT OF SURFACE MODIFICATION CONDITIONS
OF ACTIVATED CARBON WITH IRON OXIDE ON THE CHARACTERISTICS
AND CHLORIDE ADSORPTION CAPACITY OF THE MODIFIED MATERIAL
IN AQUEOUS SOLUTION**

Nguyen Duc Vu Quyen^{1,*}, LeThi Hoa¹, Ho Thi Thuy Dung²

¹Faculty of Chemistry, University of Sciences, Hue University

²Medical Engineering Department, University of Medicine and Pharmacy, Hue University

*Email: ndvquyen@hueuni.edu.vn

ABSTRACT

In this paper, the suitable conditions for modifying the surface of corn-cob-derived activated carbon with iron oxide were determined based on its chloride adsorption efficiency from aqueous solutions. The characteristics of the modified material were evaluated using modern physicochemical analytical methods, including X-ray diffraction (XRD), Raman spectroscopy, scanning electron microscopy (SEM), transmission electron microscopy (TEM), differential thermal analysis (DTA), and nitrogen adsorption-desorption (BET). The characterization results demonstrated the presence of iron oxide in the activated carbon after modification. Furthermore, an iron loading of 4,11% (w/w) on the surface of the activated carbon exhibited significantly better chloride adsorption capacity compared to the original activated carbon.

Keywords: activated carbon, iron oxide, adsorption, chloride, corn-cob, FeO_x/AC.