

Nghiên cứu hoạt hóa vật liệu từ vỏ trấu và ứng dụng hấp phụ methylene blue**Lê Hữu Quỳnh Anh*, Trần Duy Hải***Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP Hồ Chí Minh,**236B Lê Văn Sỹ, phường 1, quận Tân Bình, TP Hồ Chí Minh, Việt Nam*

Ngày nhận bài 16/5/2025; ngày chuyển phản biện 19/5/2025; ngày nhận phản biện
12/6/2025; ngày chấp nhận đăng 15/6/2025

Tóm tắt:

Vật liệu than hoạt tính ứng dụng trong lĩnh vực hấp phụ chất màu hữu cơ methylene blue (MB) đã được chúng tôi chế tạo từ vỏ trấu bằng phương pháp than hoá, sau đó hoạt hoá bằng NaOH với các nồng độ khác nhau và kết hợp với acid nitric, citric để nâng cao độ xốp, tăng diện tích bề mặt. Các kết quả phân tích kính hiển vi điện tử quét (SEM), Brunauer-Emmett-Teller (BET) cho thấy, vật liệu thu được có diện tích bề mặt tăng từ 55,47 đến 300,20 m²/g sau khi được hoạt hoá. Quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FT-IR) cho thấy, vật liệu hấp thụ mạnh trong vùng từ 2000 đến 400 cm⁻¹ với các peak hấp thụ đặc trưng các liên kết của than hoạt tính. Khả năng hấp phụ MB của vật liệu phụ thuộc vào nồng độ NaOH khi hoạt hoá, cũng như độ pH mà nồng độ MB trong dung dịch. Mẫu than hoạt tính được hoạt hoá bằng NaOH với nồng độ 0,3 M và acid citric cho khả năng hấp phụ MB lớn nhất lên đến 200 mg/g. Kết quả nghiên cứu cho thấy, vật liệu này đáp ứng tốt trong việc ứng dụng làm vật liệu hấp phụ chất màu hữu cơ MB có trong môi trường nước thải công nghiệp dệt.

Từ khóa: hấp phụ, methylene blue, than hoạt tính, vỏ trấu, xử lý nước.**Chỉ số phân loại:** 2.4, 2.5, 2.7**Investigation of rice husk-derived activated carbon and its application
in methylene blue adsorption****Huu Quynh Anh Le*, Duy Hai Tran***Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment,**236B Le Van Sy Street, Ward 1, Tan Binh District, Ho Chi Minh City, Vietnam*

Received 16 May 2025; revised 12 June 2025; accepted 15 June 2025

*Tác giả liên hệ: Email: quynhanh.lehuu@gmail.com

Abstract:

Activated carbon derived, which is used for the adsorption of the organic dye methylene blue (MB) was synthesised from rice husk through a carbonisation process, followed by activation using sodium hydroxide (NaOH) at varying concentrations, complemented by treatments with nitric acid and citric acid to enhance porosity and increase the surface area. Characterisation via Scanning electron microscopy (SEM) and Brunauer-Emmett-Teller (BET) analysis revealed a significant increase in surface area from 55.47 to 300.20 m²/g after the activation process. Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) analysis demonstrated pronounced absorption bands in the 2000 to 400 cm⁻¹ range, indicative of the functional groups characteristic of activated carbon. The MB adsorption efficiency of the derived material was influenced by the NaOH concentration utilised during activation, in addition to the pH and initial MB concentration in the solution. The sample activated with 0.3 M NaOH and with citric acid exhibited the greatest adsorption capacity, achieving up to 200 mg/g for MB. These findings highlight the material's potential applicability as a highly effective adsorbent for removing organic dye MB in textile wastewater treatment processes.

Keywords: activated carbon, adsorption, methylene blue, rice husks, wastewater treatment.

Classification numbers: 2.4, 2.5, 2.7

1. Đặt vấn đề

Trong những thập kỷ gần đây, vấn đề ô nhiễm môi trường, đặc biệt là ô nhiễm nguồn nước, đã trở thành mối quan tâm toàn cầu. Sự gia tăng các hoạt động công nghiệp và sinh hoạt đã dẫn đến sự phát thải một lượng lớn các chất ô nhiễm vào môi trường nước, gây mất cân bằng hệ sinh thái và ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe con người. Trong số các tác nhân gây ô nhiễm, thuốc nhuộm tổng hợp, điển hình là MB, là một trong những chất màu hữu cơ phổ biến có mặt trong nước thải công nghiệp, đặc biệt là ngành dệt nhuộm [1]. MB có độ bền hóa học cao, khó phân hủy sinh học và có thể gây độc cho sinh vật thủy sinh cũng như con người, nếu không được loại bỏ hiệu quả khỏi nguồn nước [2]. Do sự phức tạp của nước thải công nghiệp thuốc nhuộm, sự kết hợp của nhiều phương pháp xử lý như phương pháp hấp phụ, sinh học, lọc màng, oxy hóa nâng cao sẽ phù hợp để loại bỏ các thuốc nhuộm khỏi nước. Trong đó, phương pháp hấp phụ được xem là hiệu quả, kinh tế và thân thiện với môi trường [3], với than hoạt tính, zeolite và các vật liệu tự nhiên như vỏ trấu [4, 5] thường được sử dụng phổ biến.

Vỏ trấu, một phụ phẩm nông nghiệp có trữ lượng lớn và chi phí thấp, đã thu hút sự quan tâm đáng kể nhờ thành phần chứa hàm lượng carbon và silica cao, có khả năng hấp phụ nhiều loại chất ô nhiễm trong nước như thuốc nhuộm và kim loại nặng [6]. Thành phần hóa học của vỏ trấu chứa một tỷ lệ lớn cellulose (28-36%), hemicellulose và lignin, khiến nó trở thành một ứng viên tốt để biến đổi bề mặt với các nhóm chức nhằm tăng cường khả năng hấp phụ [7]. Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng, vỏ trấu có thể được sử dụng để loại bỏ không chỉ các hợp chất màu hữu cơ, mà còn cả các ion kim loại nặng như chì (Pb^{2+}), cadmium (Cd^{2+}), selen (Se^{2+}), đồng (Cu^{2+}), kẽm (Zn^{2+}) và thủy ngân (Hg^{2+}) trong nước thải [8].

Trong nghiên cứu này, vỏ trấu được sử dụng làm nguyên liệu để tổng hợp than hoạt tính thông qua hai giai đoạn chính: than hóa [9] và hoạt hóa. Vỏ trấu đầu tiên được nung ở nhiệt độ cao trong quá trình than hóa để tạo thành than vỏ trấu, sau đó được hoạt hóa bằng dung dịch kiềm (NaOH) kết hợp với acid nitric vô cơ và acid citric hữu cơ, nhằm tăng cường khả năng tạo lỗ xốp và để gia tăng diện tích bề mặt, giúp nâng cao khả năng hấp phụ MB. Nghiên cứu khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng hấp phụ như độ pH, nồng độ ban đầu của MB và nồng độ chất hoạt hóa NaOH. Kết quả nghiên cứu mở ra tiềm năng ứng dụng cho xử lý nước thải có độ ô nhiễm MB cao và định hướng ứng dụng ở quy mô công nghiệp.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu và hóa chất sử dụng

Vỏ trấu (kích cỡ hạt 0,5-2 mm, độ ẩm toàn phần 3-8% và hàm lượng tro 8-12%) được cung cấp từ huyện Củ Chi, TP Hồ Chí Minh, Việt Nam.

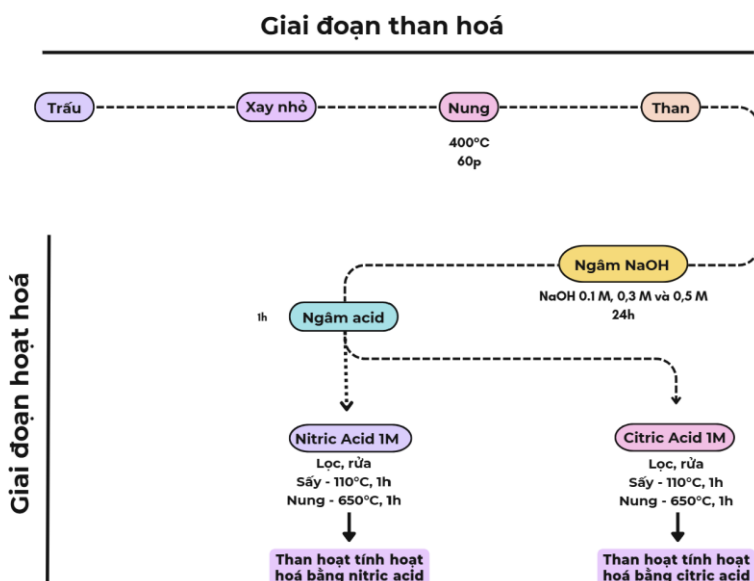
Các hóa chất sử dụng: sodium hydroxide (NaOH) 97%; acid nitric (HNO_3) 70%; acid citric ($C_6H_8O_7$) 99%; acid hydrochloric (HCl) 37% đều đạt độ sạch phân tích, được mua từ Hãng Merck (Đức) dùng để làm sạch và biến tính than. Phẩm màu MB ($C_{16}H_{18}ClN_3S$) được mua từ Hãng Merck dùng để khảo sát hấp phụ.

2.2. Mẫu nước nghiên cứu

Mẫu dung dịch thuốc nhuộm: thuốc nhuộm dạng bột, pha trong nước cất theo nồng độ 30, 50, 100, 150, 200, 300 và 400 mg/l.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Quy trình thực nghiệm



Hình 1. Quy trình tổng hợp vật liệu than hoạt tính.

Quy trình chuẩn bị vật liệu hấp phụ từ vỏ trấu gồm hai giai đoạn: than hóa và hoạt hóa (hình 1).

Giai đoạn than hóa: Vỏ trấu được xay nhỏ và nung trong môi trường không khí với thời gian 60 phút ở nhiệt độ nung 400°C [9].

Giai đoạn hoạt hóa: 1 g than vỏ trấu được ngâm trong 5 ml dung dịch NaOH (nồng độ khảo sát 0,05, 0,1, 0,3 và 0,5 M) trong 24 giờ. Sau đó, hỗn hợp được lọc và phần rắn thu được ngâm trong 10 ml dung dịch acid nitric 1 M trong 1 giờ. Sau đó, lọc và rửa phần rắn đến pH trung tính. Các mẫu than được sấy khô ở nhiệt độ 110°C trong 1 giờ và nung ở 650°C trong 1 giờ. Than sau khi nung được nghiền nhỏ và rây về cùng kích thước $d \leq 1$ mm.

Các bước thực nghiệm tiến hành tương tự khi thay acid nitric bằng acid citric 1 M.

Các mẫu than hoạt tính lần lượt được ký hiệu AC-60-0,05-N, AC-60-0,1-N, AC-60-0,3-N, AC-60-0,5-N đối với acid nitric và AC-60-0,05-C, AC-60-0,1-C, AC-60-0,3-C, AC-60-0,5-C đối với acid citric.

2.3.2. Quy trình khảo sát điều kiện hấp phụ methylene blue

0,2 g vật liệu hấp phụ hoạt hóa bằng acid citric hoặc acid nitric được khuấy trộn trong 400 ml dung dịch chứa MB. Dung dịch sau hấp phụ được lọc và đo UV-Vis. Các thông số được khảo sát bao gồm độ pH của dung dịch (pH 3-9) và nồng độ của chất màu hữu cơ MB (30, 50, 100, 150, 200, 300 và 400 mg/l).

Dung lượng hấp phụ (q_e , mg/g) được tính thông qua công thức sau:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (1)$$

trong đó: C_0 , C_e (mg/l) lần lượt là nồng độ MB tại thời điểm ban đầu và ở trạng thái cân bằng; V (l) là thể tích dung dịch MB; m (g) là khối lượng than hoạt tính.

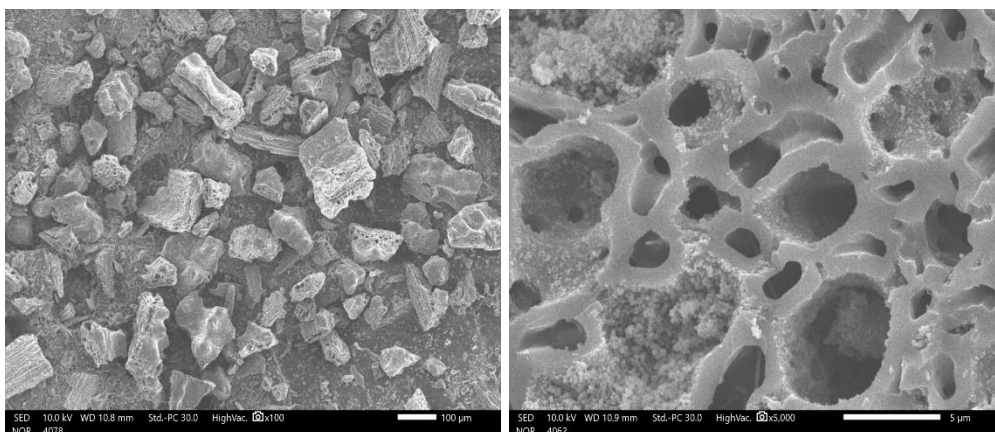
2.3.3. Phương pháp phân tích

Các đặc tính hóa lý của than hoạt tính như kích thước hạt, độ xốp, hình dạng bề mặt, và mức độ phân tán của các hạt được đánh giá bằng SEM. FT-IR (dải số sóng từ 4000 đến 400 cm^{-1}) được sử dụng để xác định thành phần hóa học của vật liệu và phân tích sự biến đổi cấu trúc hóa học. Diện tích bề mặt và kích thước lỗ xốp của than hoạt tính được phân tích bằng BET và BJH (Barrett-Joyner-Halenda). Nồng độ MB trong dung dịch được đánh giá bằng phương pháp đo độ hấp thụ ánh sáng trong vùng UV-Vis, bước sóng 500-700 nm.

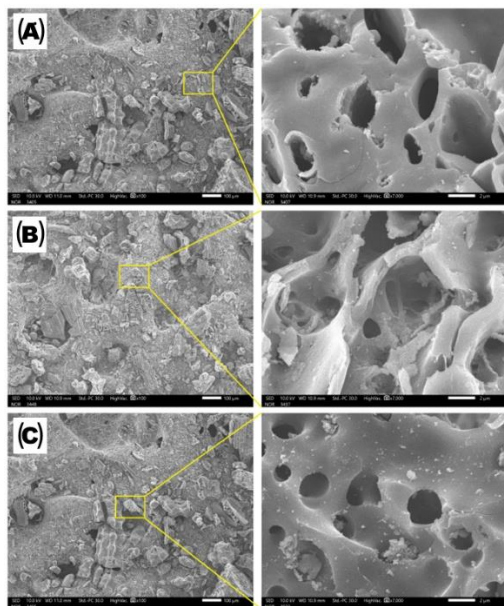
3. Kết quả và bàn luận

3.1. Ảnh hưởng của nồng độ NaOH đến tính chất than hoạt tính

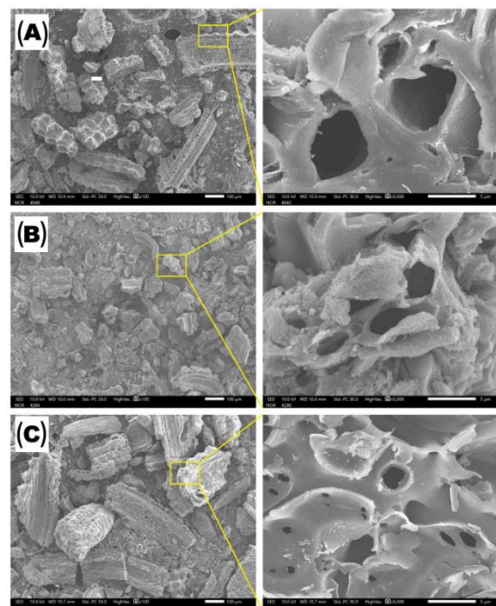
Ảnh kính hiển vi điện tử quét: Hình 2 trình bày ảnh SEM của các mẫu than trước và sau hoạt hóa, khảo sát theo nồng độ NaOH. Kết quả thu được cho thấy, sự khác biệt rõ rệt trong cấu trúc lỗ xốp của than hoạt tính khi nồng độ NaOH thay đổi đối với 2 loại acid nghiên cứu.



2.1. Than vỏ trấu được than hóa ở 400°C.



2.2. Than vỏ trấu được hoạt hóa bằng acid nitric: (A) AC-60-0,05-N; (B) AC-60-0,1-N; (C) AC-60-0,3-N



2.3. Than vỏ trấu được hoạt hóa bằng acid citric: (A) AC-60-0,1-C; (B) AC-60-0,3-C; (C) AC-60-0,5-C.

Hình 2. Ảnh kính hiển vi điện tử quét của các mẫu than hoạt tính trước và sau khi hoạt hóa theo các nồng độ của NaOH. 2.1: Than vỏ trấu được than hóa ở 400°C; 2.2: Than vỏ trấu được hoạt hóa bằng acid nitric; 2.3: Than vỏ trấu được hoạt hóa bằng acid citric.

Kết quả cho thấy, điều kiện hoạt hóa có ảnh hưởng rõ rệt đến hình thái bề mặt của vật liệu than hoạt tính. Với mẫu sử dụng nitric acid, khi tăng nồng độ NaOH, diện tích bề mặt và cấu trúc xốp của vật liệu tăng lên do quá trình ăn mòn vật liệu. Ở nồng độ NaOH 0,1 M, sự phát triển lỗ xốp đạt mức tối ưu với diện tích bề mặt cao được giữ nguyên giúp cải thiện khả năng hấp phụ. Trong khi với nồng độ NaOH 0,3 M, hiệu ứng hoạt hóa mạnh hơn, dẫn đến cấu trúc xốp phát triển mạnh, xuất hiện nhiều lỗ có kích thước lớn hơn, bề mặt bị phá hủy và dần trở nên phẳng mịn hơn [10].

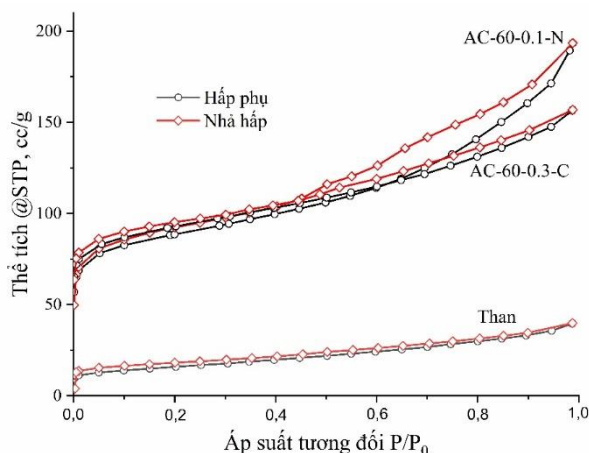
Tương tự như vậy, khi khảo sát tăng hay giảm nồng độ NaOH trong quá trình hoạt hóa với mẫu than vỏ trấu sử dụng acid citric, kết quả thu được cho thấy, nồng độ NaOH thấp chưa đủ để kích hoạt cấu trúc xốp tối ưu hay nồng độ cao có thể làm phá hủy cấu trúc. Do đó, mẫu AC-60-0,3-C với nồng độ NaOH 0,3 M đạt cân bằng tốt nhất giữa việc tạo lỗ xốp và có cấu trúc ổn định.

Diện tích bề mặt riêng: Đường đẳng nhiệt hấp phụ - giải hấp N_2 ở 77 K và các thông số bề mặt của than hoạt tính trước và sau khi hoạt hóa được trình bày trong bảng 1 và hình 3. Mẫu than chưa hoạt hóa có diện tích bề mặt riêng và thể tích lỗ xốp đều thấp, tương ứng là 55,47 m^2/g và 0,061 cm^3/g . Sau hoạt hóa với acid, có sự gia tăng đáng kể về diện tích bề mặt riêng và thể tích lỗ xốp, cụ thể mẫu AC-60-0,3-C sử dụng acid citric là 287,32 m^2/g và

0,298 cm³/g; mẫu AC-60-0,1-N là 300,20 m²/g và 0,246 cm³/g. Hơn nữa, kích thước lỗ xốp của cả 3 mẫu than hoạt tính trước và sau khi hoạt hóa đều nằm trong khoảng 2-10 nm, chứng tỏ sự hiện diện của cấu trúc mesopore [11].

Bảng 1. Diện tích bề mặt than hoạt tính trước và sau khi hoạt hóa.

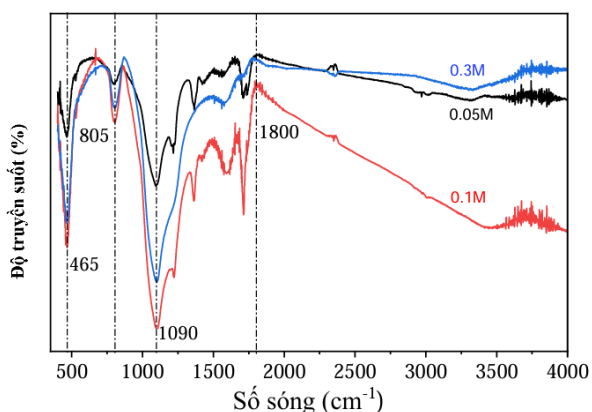
Thông số khảo sát	Than	AC-60-0,3-C	AC-60-0,1-N
Diện tích (m ² /g)	55,47	287,32	300,20
Thể tích lỗ xốp (cm ³ /g)	0,061	0,298	0,246
Đường kính trung bình lỗ xốp (nm)	4,4	7,1	3,8



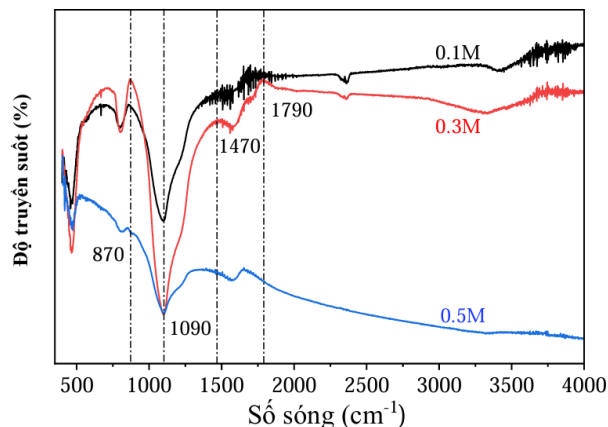
Hình 3. Đường hấp phụ - giải hấp phụ N₂.

Phổ FT-IR: Hình 4 thể hiện phổ FT-IR của các mẫu than hoạt tính hoạt hóa bằng các nồng độ NaOH khác nhau tương ứng với từng loại acid nitric và acid citric.

(A)



(B)



Hình 4. Quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier của các mẫu than hoạt tính khảo sát theo nồng độ NaOH. (A) Acid nitric: AC-60-0,05-N, AC-60-0,1-N và AC-60-0,3-N; (B) Acid citric: AC-60-0,1-C, AC-60-0,3-C và AC-60-0,5-C.

Các peak tiêu biểu trong phổ FT-IR của các mẫu hoạt hóa bằng acid nitric được xác định như sau: peak tại 465 cm^{-1} là dao động của liên kết C-X (X có thể là Cl, Br, I) hoặc dao động uốn của nhóm ngoại lai trên bề mặt carbon [12]; cường độ giảm khi nồng độ NaOH tăng cho thấy, sự thay đổi trong cấu trúc bề mặt của than khi phản ứng với các nhóm chức oxy hóa. Peak tại 805 cm^{-1} tương ứng với dao động ngoài mặt phẳng của C-H trong vòng thơm hoặc dao động của nhóm chức lactone [13]; peak này không có sự thay đổi lớn giữa các nồng độ NaOH. Peak tại 1090 cm^{-1} liên quan đến dao động co giãn của nhóm C-O trong ether, anhydride hoặc alcohol [14]; cường độ phổ FT-IR tăng dần khi nồng độ NaOH tăng từ 0,05 đến 0,1 M rồi sau đó giảm với nồng độ 0,3 M, cho thấy các nhóm oxy hóa hoạt động mạnh mẽ nhất ở nồng độ NaOH trung bình (0,1 M). Các peak tại $1400\text{-}1470\text{ cm}^{-1}$ được giải thích là dao động biến dạng C-H (CH_2 , CH_3), dấu hiệu của cấu trúc aliphatic, có thể liên quan đến các tàn dư của acid citric chưa phản ứng hoặc các hợp chất hữu cơ phân hủy từ cellulose, hemicellulose. Peak tại 1800 cm^{-1} liên quan đến dao động co giãn của liên kết C=O trong nhóm carboxyl hoặc lactone [14]; cường độ của peak này tăng mạnh với nồng độ NaOH cao (0,3 M), cho thấy sự oxy hóa mạnh mẽ và sự hình thành các nhóm carboxyl.

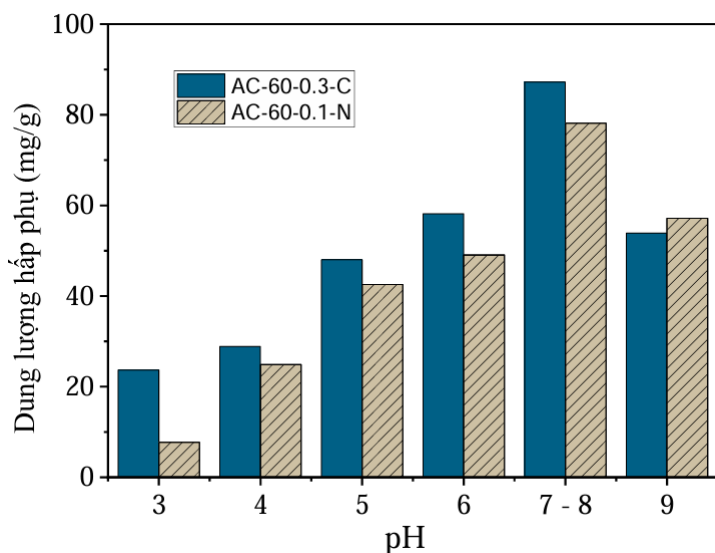
Tương tự như vậy, việc xử lý than vỏ trấu bằng NaOH với các nồng độ khác nhau và hoạt hóa bằng acid citric ảnh hưởng đến các nhóm chức oxy hóa trên bề mặt than và xuất hiện những peak đặc trưng như trên. Ở nồng độ NaOH 0,1 M, các peak oxy hóa (C=O, C-O) vẫn còn tồn tại; trong khi đó khi nồng độ kiềm tăng lên 0,5 M, peak C=O ($\sim 1790\text{ cm}^{-1}$) giảm mạnh, cho thấy nhóm ether hoặc ester bị phá vỡ gần như hoàn toàn [15].

3.2. Khả năng hấp phụ methylene blue

Trong nội dung này, khả năng hấp phụ MB của các mẫu than hoạt tính được chọn làm tiêu chí đánh giá. Theo kết quả đánh giá ở nội dung 3.1, mẫu than hoạt tính AC-60-0,1-N được hoạt hóa bằng acid nitric và mẫu than AC-60-0,3-C với chất hoạt hóa acid citric được cho là tối ưu về hình dạng bề mặt lỗ xốp cũng như cấu trúc hóa học. Do đó, hai mẫu than hoạt tính này được sử dụng làm vật liệu hấp phụ trong nghiên cứu này.

Ảnh hưởng của pH dung dịch nước thải mẫu: Độ pH của dung dịch tác động mạnh đến quá trình hấp phụ do các tính chất bề mặt than thay đổi khi tiếp xúc với dung dịch có pH khác nhau. Hình 5 thể hiện khả năng hấp phụ MB của C-60-0,1-N và AC-60-0,3-C ở các giá trị pH dung dịch ban đầu khác nhau, thời gian hấp phụ là 120 phút. Hình 5 cho thấy, vật liệu AC-60-0,3-C có dung lượng hấp phụ MB cao hơn AC-60-0,1-N tại hầu hết các giá trị pH được khảo sát. Ở pH 3-4, cả hai loại than hoạt tính này đều có dung lượng hấp phụ thấp do bề mặt vật liệu có thể bị proton hóa mạnh, làm giảm khả năng tương tác với cation MB. Khi pH tăng từ 5 đến 7-8, khả năng hấp phụ tăng dần và đạt giá trị cao nhất ở khoảng pH 7-8. Điều này có thể do sự cân bằng giữa điện tích bề mặt vật liệu và dạng tồn tại của chất hấp

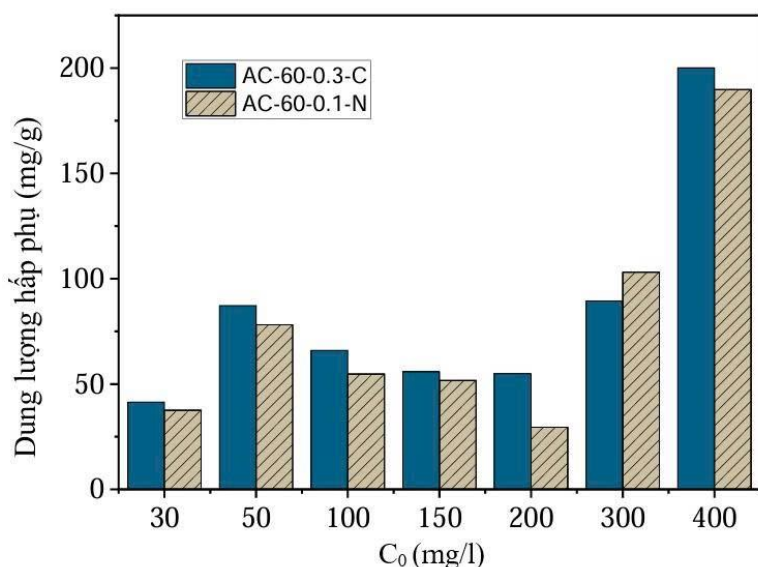
phụ. Ở pH 9, dung lượng hấp phụ giảm nhẹ, có thể do sự cạnh tranh của ion OH^- trong dung dịch, làm giảm tương tác hấp phụ.



Hình 5. Ảnh hưởng của pH lên dung lượng hấp phụ của hai loại vật liệu AC-60-0,1-N và AC-60-0,3-C.

Than hoạt tính AC-60-0,3-C có khả năng hấp phụ MB cao hơn AC-60-0,1-N ở mọi giá trị pH, có thể được giải thích bởi acid citric tạo ra nhiều nhóm chức có lợi cho quá trình hấp phụ hơn. Khoảng pH tối ưu cho quá trình hấp phụ là từ 6 đến 8, do sự cân bằng giữa điện tích bề mặt vật liệu và dạng tồn tại của chất hấp phụ trong dung dịch. Ở pH quá thấp (pH 3-4), khả năng hấp phụ giảm mạnh do sự proton hóa của bề mặt vật liệu. Ở pH quá cao (pH 9), khả năng hấp phụ cũng giảm do sự cạnh tranh với ion OH^- [16].

Ảnh hưởng của nồng độ methylene blue: Nồng độ MB ban đầu sẽ ảnh hưởng đến nồng độ MB ở trạng thái cân bằng hấp phụ, làm thay đổi dung lượng hấp phụ của vật liệu. Trong phần này, dung dịch MB với các nồng độ đầu khác nhau (30, 50, 100, 150, 200, 300 và 400 mg/l) sẽ lần lượt được xử lý với AC-60-0,1-N và AC-60-0,3-C trong 120 phút ở pH 7-8. Hình 6 thể hiện sự phụ thuộc của dung lượng hấp phụ vào nồng độ MB ban đầu.



Hình 6. Ảnh hưởng của nồng độ methylene blue ban đầu đến độ hấp phụ của hai loại vật liệu AC-60-0,1-N và AC-60-0,3-C.

Trong vùng nồng độ MB thấp ($C_0=30-150$ mg/l), khả năng hấp phụ tăng nhẹ khi C_0 tăng từ 30 lên 100 mg/l, sau đó gần như ổn định. Ở giai đoạn này, sự khác biệt giữa hai loại than hoạt tính chưa rõ rệt, nhưng AC-60-0,3-C có khả năng hấp phụ MB cao hơn so với AC-60-0,1-N. Điều này có thể được giải thích do ở nồng độ thấp, các vị trí hấp phụ trên bề mặt vật liệu chưa bị bão hòa, nên cả hai vật liệu đều có khả năng hấp phụ tương đương. Với nồng độ MB cao ($C_0=300-400$ mg/l), dung lượng hấp phụ tăng mạnh, đặc biệt đối với AC-60-0,3-C cho thấy, dung lượng hấp phụ MB là 200 mg/g cao hơn so với AC-60-0,1-N (185 mg/g). Điều này cho thấy, AC-60-0,3-C có khả năng hấp phụ MB tốt hơn ở nồng độ cao, có thể do diện tích bề mặt lớn hơn hoặc nhóm chức phù hợp hơn với chất hấp phụ.

Y.S. Reddy và cs (2024) [16] đã tổng hợp than hoạt tính từ lá *Ficus religiosa* và đánh giá khả năng hấp phụ đối với thuốc nhuộm AB9 là 123,04 mg/g và MG là 138,58 mg/g [16]. Dung lượng hấp phụ trong nghiên cứu này cũng được đánh giá là tương đương với các công bố trước đây. A.H. Jawad và cs (2019) [17] đã khảo sát dung lượng hấp phụ 200 mg/g của than hoạt tính vỏ quả dừa hấu. Do đó, kết quả đạt được trong nghiên cứu này là than hoạt tính từ vỏ trấu được hoạt hóa bằng acid citric thể hiện tiềm năng ứng dụng lớn cho xử lý nước thải có độ ô nhiễm MB cao và định hướng ứng dụng ở quy mô công nghiệp.

4. Kết luận

Trong khuôn khổ nghiên cứu này, chúng tôi đã chế tạo than hoạt tính từ vỏ trấu bằng con đường than hoá ở nhiệt độ 400°C và sau đó được hoạt hoá bằng NaOH và acid. Kết quả thu được vật liệu có độ xốp cao với diện tích bề mặt lên đến 300,02 m²/g. Khả năng hấp phụ

MB của vật liệu phụ thuộc vào độ pH và nồng độ chất màu trong dung dịch. Mảnh than hoạt tính được hoạt hoá bằng NaOH với nồng độ 0,3 M và acid citric cho khả năng hấp phụ MB tốt nhất trong môi trường trung tính với dung lượng hấp phụ lên đến 200 mg/g. Kết quả nghiên cứu này cho thấy, vật liệu đáp ứng tốt khả năng xử lý nước thải công nghiệp dệt nhuộm có chứa MB với than hoạt tính từ vỏ trấu là phế phẩm từ nông nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] C.K. Yadav, A. Bhattarai, T.P. Niraula, et al. (2023), “Critical analysis of surfactant-dye interaction: A review”, *Amrit Journal*, **3(1)**, pp.66-77, DOI: 10.3126/amritj.v3i1.61543.
- [2] S. Noor, M.B. Taj, I. Naz (2021), “Comparative solubilization of reactive dyes in single and mixed surfactants”, *Journal of Dispersion Science and Technology*, **43(13)**, pp.2058-2068, DOI: 10.1080/01932691.2021.1956528.
- [3] R. Agarwala, L. Mulky (2023), “Adsorption of dyes from wastewater: A comprehensive review”, *ChemBioEng Reviews*, **10(3)**, pp.326-335, DOI: 10.1002/cben.202200011.
- [4] E.K. Tsoutsas, A.K. Tolkou, G.Z. Kyzas (2024), “An update on agricultural wastes used as natural adsorbents or coagulants in single or combined systems for the removal of dyes from wastewater”, *Water Air Soil Pollut.*, **235**, DOI: 10.1007/s11270-024-06979-9.
- [5] S. Kato, Y. Kansha (2024), “Comprehensive review of industrial wastewater treatment techniques”, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **31(39)**, pp.51064-51097, DOI: 10.1007/s11356-024-34584-0.
- [6] T.W. Chew, P.S. H’Ng, B.C.T.G.L.C. Abdullah, et al. (2023), “A review of bio-based activated carbon properties produced from different activating chemicals during chemicals activation process on biomass and its potential for Malaysia”, *Materials (Basel)*, **16(23)**, DOI: 10.3390/ma16237365.
- [7] W.H. Chen, C.W. Wang, H.C. Ong, et al. (2019), “Torrefaction, pyrolysis and two-stage thermodegradation of hemicellulose, cellulose and lignin”, *Fuel*, **258**, DOI: 10.1016/j.fuel.2019.116168.
- [8] S. Karzegar, M. Abedi, M.H.J. Salmani (2024), “Modification of agricultural wastes carbon adsorbents with iron and iron oxides nanoparticles for heavy metals removal: A scoping review of the literature”, *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*, **9(4)**, pp.2405-2415.

[9] J. Jjagwe, P.W. Olupot, E. Menya, et al. (2021), “Synthesis and application of granular activated carbon from biomass waste materials for water treatment: A review”, *Journal of Bioresources and Bioproducts*, **6(4)**, pp.292-322.

[10] H.T. Luu, D.T.B. Tam, L.M. Thoa, et al. (2024), “Synthesis and characterization of activated carbon from rice husk ash: Effect of NaOH ratio on properties of activated carbon”, *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*, **8(4)**, pp.3219-3229, DOI: 10.32508/stdjns.v8i4.1384 (in Vietnamese).

[11] S.M. Ataei, E. Aram (2023), “Mesoporous carbon-based materials: A review of synthesis, modification, and applications”, *Catalysts*, **13(1)**, DOI: 10.3390/catal13010002.

[12] C. Sarathchandran, M.R. Devika, S. Prakash, et al. (2021), “Chapter 19 - Activated carbon: Synthesis, properties, and applications”, *Micro and Nano Technologies*, **2021**, pp.783-827, DOI: 10.1016/B978-0-12-821996-6.00008-7.

[13] Y. Peng, Z. Chen, R. Zhang, et al. (2021), “Oxygen-containing functional groups regulating the carbon/electrolyte interfacial properties toward enhanced K⁺ storage”, *Nano-Micro Lett.* **13(1)**, DOI: 10.1007/s40820-021-00722-3.

[14] S.Y. Yang, B.C. Bai, Y.R. Kim (2024), “Effective surface structure changes and characteristics of activated carbon with the simple introduction of oxygen functional groups by using radiation energy”, *Surfaces*, **7(1)**, pp.12-25, DOI: 10.3390/surfaces7010002.

[15] O.A. Hussain, A.S. Hathout, Y.E.A. Mobdy, et al. (2023), “Preparation and characterization of activated carbon from agricultural wastes and their ability to remove chlorpyrifos from water”, *Toxicology Reports*, **10**, pp.146-154, DOI: 10.1016/j.toxrep.2023.01.011.

[16] Y.S. Reddy, N.K. Rotte, B.K. Sudhakar, et al. (2024), “Biomass-derived sustainable mesoporous activated carbon as an efficient and recyclable adsorbent for the adsorption of hazardous dyes”, *Hybrid Advances*, **6**, DOI: 10.1016/j.hybadv.2024.100218.

[17] A.H. Jawad, R. Razuan, J.N. Appaturi, et al. (2019), “Adsorption and mechanism study for methylene blue dye removal with carbonized watermelon (*Citrullus lanatus*) rind prepared via one-step liquid phase H₂SO₄ activation”, *Surfaces and Interfaces*, **16**, pp.76-84, DOI: 10.1016/j.surfin.2019.04.012.