

STUDY ON THE ADSORPTION CAPACITY OF ORANGE METHYLENE ON ACTIVATED CARBON PREPARED FROM SOYBEAN RESIDUE

Nguyen Thi Anh Tuyet¹, Vu Thi Hau^{2*}

¹TNU - University of Medicine and Pharmacy, ²TNU - University of Education

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	09/5/2022	Methyl orange (MO) is one of the dyes of the azo family used in the textile industry, printing, paper production... Recently, scientists have discovered its pollution and harm to the ecological environment and humans, especially this compound has the potential to cause cancer for users. This paper focus on the adsorption of (MO) in aqueous solution on carbon prepared from soybean residue (TBD). The experiments were conducted using the following parameters: TBD mass is 0.05g/25 mL, shaking speed is 200 rounds/minute, equilibrium time is 120 minutes at room temperature ($25 \pm 1^{\circ}\text{C}$); pH is best 3. Mass TBD needed for MO adsorption is best at 0.05 g/25mL of MO solution. In the temperature range of 298 - 323K, the values of $\Delta G^{\circ} < 0$; $\Delta H^{\circ} = -122.99$ kJ/mol implicates that the process is self-inflicted and exothermic. According to the Langmuir adsorption isotherm model, the maximum adsorption capacity of TBD for MO was determined to be 153.85 mg/g at 298K. The results of this study will be useful for the future expansion of low-cost activated carbon raw materials for dye removal in industrial wastewater.
Revised:	24/6/2022	
Published:	24/6/2022	
KEYWORDS		
Adsorption		
Orange methylene		
Activated carbon		
Soybean residue		
Zinc chloride		

NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG HẤP PHỤ METYL DA CAM CỦA THAN HOẠT TÍNH CHẾ TẠO TỪ BÃ ĐẬU NÀNH

Nguyễn Thị Ánh Tuyết¹, Vũ Thị Hậu^{2*}

¹Trường Đại học Y Dược – ĐHTN Thái Nguyên, ²Trường Đại học Sư phạm – ĐHTN Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	09/5/2022	Metyl da cam (MO) là một trong những thuốc nhuộm thuộc họ azo được sử dụng trong công nghiệp dệt may, in ấn, sản xuất giấy... Gần đây, các nhà khoa học đã phát hiện ra tính ô nhiễm và nguy hại của nó đối với môi trường sinh thái và con người, đặc biệt hợp chất này có khả năng gây ung thư cho người sử dụng. Bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu hấp phụ MO của than chế tạo từ bã đậu nành (TBD). Các thí nghiệm được tiến hành với các thông số sau: khối lượng TBD: 0,05 g/25mL; tốc độ lắc: 200 vòng/phút; thời gian đạt cân bằng hấp phụ là 120 phút ở nhiệt độ phòng ($25 \pm 1^{\circ}\text{C}$); pH hấp phụ tốt nhất là khoảng 3,0. Khối lượng TBD cần thiết cho sự hấp phụ MO tốt nhất là 0,05 g/25mL dung dịch MO. Trong khoảng nhiệt độ khảo sát từ 298 ÷ 323K, xác định được các giá trị $\Delta G^{\circ} < 0$; $\Delta H^{\circ} = -122,99$ kJ/mol chứng tỏ quá trình là tự xảy ra và tỏa nhiệt. Theo mô hình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir đã xác định được dung lượng hấp phụ cực đại của TBD đối MO là 153,85 mg/g ở 298K. Kết quả của nghiên cứu này sẽ là hữu ích cho việc mở rộng nguồn nguyên liệu chế tạo than hoạt tính trong tương lai chi phí thấp để loại bỏ thuốc nhuộm trong nước thải công nghiệp.
Ngày hoàn thiện:	24/6/2022	
Ngày đăng:	24/6/2022	
TỪ KHÓA		
Hấp phụ		
Metyl da cam		
Than hoạt tính		
Bã đậu nành		
Kẽm clorua		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.5962>

* Corresponding author. Email: vuthihaukhoahoa@gmail.com

1. Giới thiệu

Công nghiệp dệt nhuộm ra đời và ngày càng phát triển không ngừng nhằm đáp ứng nhu cầu may mặc càng ngày càng đa dạng của con người. Ngành này đã góp phần tăng tỷ trọng xuất khẩu, giải quyết được công an việc làm cho một lượng lớn lao động ở Việt Nam hiện nay. Tuy nhiên, cùng với những lợi ích về kinh tế, một vấn đề đang được quan tâm, đó là tình trạng ô nhiễm môi trường do nước thải từ các nhà máy dệt nhuộm gây ra. Màu của nước thải dệt nhuộm thường có tính tan cao, cường độ lớn, nhiều màu sắc khác nhau. Do đó, khi được thải vào môi trường, nước thải sẽ ảnh hưởng xấu đến mỹ quan môi trường, gây ô nhiễm đất và nước, ảnh hưởng xấu đến sức khỏe và cuộc sống của những người dân xung quanh. Loại bỏ MO ra khỏi môi trường nước bằng phương pháp hấp phụ sử dụng than chế tạo từ các nguồn khác nhau đã được các nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm nghiên cứu [1]-[9].

Cây đậu nành được coi là cây cung cấp dầu thực vật quan trọng vì trong hạt đậu nành có chứa hàm lượng dầu béo cao hơn các loại đậu đỗ khác. Hiện nay, từ hạt đậu tương (đậu nành) người ta đã chế biến ra được trên 600 sản phẩm khác nhau, trong đó có hơn 300 loại làm thực phẩm được chế biến bằng cả phương pháp cổ truyền, thủ công và hiện đại dưới dạng tươi, khô và lên men như làm giá, đậu phụ, tương, xì dầu đến các sản phẩm cao cấp khác như cà phê đậu nành, bánh kẹo và thịt nhân tạo... Tuy nhiên sau mỗi lần chế biến thành thực phẩm bã đậu nành lại bị thải bỏ hoặc dùng cho chăn nuôi gia súc. Trong bã đậu nành chứa một lượng lớn hàm lượng chất xơ, rất thích hợp cho việc chế tạo than hoạt tính. Quy trình chế tạo và kết quả hấp phụ xanh metylen của than bã đậu đã được trình bày trong nghiên cứu trước [10]. Bài báo này tiếp tục trình bày các kết quả nghiên cứu than hoạt tính chế tạo từ bã đậu nành hấp phụ MO.

2. Thực nghiệm

2.1 Hóa chất và thiết bị nghiên cứu

Hóa chất:

MO; dung dịch ZnCl_2 95%; dung dịch NaOH 0,1M; dung dịch HCl 3M; 0,1M; dung dịch Na_2CO_3 0,1M. Tất cả hóa chất nêu trên đều có độ tinh khiết PA, xuất xứ Trung Quốc.

Thiết bị nghiên cứu:

Thiết bị nghiền, thiết bị rây (kích thước lỗ 5mm), cân phân tích 4 số Precisa XT 120A-Switzerland (Thụy Sĩ), bếp cách thủy, lò nung Carbolite (Anh), máy lắc IKA HS-260 (Malaysia), máy đo pH Precisa 900 (Thụy Sĩ), tủ sấy Jeitech (Hàn Quốc), máy đo quang UV-Vis 1700 Shimadzu (Nhật).

2.2 Chế tạo vật liệu hấp phụ

Nguyên liệu sử dụng trong nghiên cứu này là bã đậu nành, việc chuẩn bị nguyên liệu và quy trình chế tạo than hoạt tính từ bã đậu nành đã được trình bày chi tiết trong nghiên cứu trước [10].

Kết quả là đã chế tạo được 04 mẫu TBĐ, các mẫu TBĐ chế tạo được tương ứng với các tỉ lệ V_{ZnCl_2} (mL) : khối lượng nguyên liệu (g) là 0:1; 1:2; 1:1; 2:1 được kí hiệu lần lượt là: M01, M12, M11, M21.

2.3 Quy trình thực nghiệm và các thí nghiệm nghiên cứu

2.3.1 Quy trình thực nghiệm

Trong mỗi thí nghiệm hấp phụ:

- Thể tích dung dịch MO: 25 mL với nồng độ xác định.
- Lượng chất hấp phụ: 0,05 g.
- Thí nghiệm được tiến hành ở nhiệt độ phòng ($25 \pm 1^\circ\text{C}$), sử dụng máy lắc với tốc độ 200 vòng/phút.

2.3.2 Các thí nghiệm nghiên cứu

+ Khảo sát sơ bộ khả năng hấp phụ MO của các mẫu TBĐ chế tạo được: nồng độ dung dịch MO ban đầu là 202,12 mg/L; thời gian hấp phụ: 120 phút. Các điều kiện khác như: thể tích dung dịch MO, khối lượng chất hấp phụ, nhiệt độ hấp phụ, tốc độ lắc như ghi ở trên.

+ Khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng đến khả năng hấp phụ MO của TBĐ:

- Ảnh hưởng của pH: thời gian hấp phụ 120 phút; nồng độ dung dịch MO ban đầu là 202,12 mg/L; pH dung dịch thay đổi từ 3 đến 12.

- Thời gian đạt cân bằng hấp phụ: sử dụng giá trị pH tối ưu đã xác định ở thí nghiệm trước; nồng độ dung dịch MO ban đầu là 200,18 mg/L; thời gian hấp phụ khác nhau (5 ÷ 180 phút).

- Ảnh hưởng của khối lượng: sử dụng giá trị pH tối ưu; thời gian đã xác định ở thí nghiệm trước; nồng độ dung dịch MO ban đầu là 214,47 mg/L; khối lượng TBĐ thay đổi từ 0,01g đến 0,07g.

- Ảnh hưởng của nhiệt độ: sử dụng giá trị pH; thời gian, khối lượng TBĐ tối ưu đã xác định ở thí nghiệm trước; nồng độ dung dịch MO ban đầu là 214,47 mg/L; nhiệt độ thí nghiệm thay đổi 298 - 323K.

- Ảnh hưởng của nồng độ đầu MO và xác định dung lượng hấp phụ cực đại: thời gian hấp phụ, khối lượng TBĐ, pH tối ưu như xác định được ở thí nghiệm trước; nồng độ ban đầu MO thay đổi từ 154,96 - 396,27 mg/L.

Nồng độ MO trước và sau hấp phụ được xác định bằng phương pháp đo mật độ quang ở bước sóng 430 nm.

Dung lượng và hiệu suất hấp phụ được xác định theo phương trình (1) và (2).

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{m} \quad (1)$$

$$H = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \cdot 100\% \quad (2)$$

Trong đó:

- q_t : dung lượng hấp phụ ở thời điểm t (mg/g)

- V : thể tích dung dịch MO được lấy để hấp phụ (L)

- m : khối lượng chất hấp phụ (g)

- H : hiệu suất hấp phụ (%)

- C_0, C_t : nồng độ đầu và nồng độ tại thời điểm t của dung dịch MO (mg/L)

Dung lượng hấp phụ cực đại của TBĐ đối với MO được xác định dựa vào đồ thị $C_{cb}/q = f(C_{cb})$

- phương trình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir dạng tuyến tính:

$$\frac{C_{cb}}{q} = \frac{1}{q_{max}} C_{cb} + \frac{1}{q_{max}b} \quad (3)$$

Trong đó:

- q, q_{max} : dung lượng hấp phụ và dung lượng hấp phụ cực đại

- C_{cb} : nồng độ tại thời điểm cân bằng của dung dịch MO

- b : hằng số

Các đại lượng nhiệt động: biến thiên năng lượng tự do (ΔG°), entanpi (ΔH°) và entropi (ΔS°) của quá trình hấp phụ được tính toán bằng cách sử dụng các phương trình sau:

$$K_D = \frac{q_e}{C_{cb}} \quad (4)$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_D \quad (5)$$

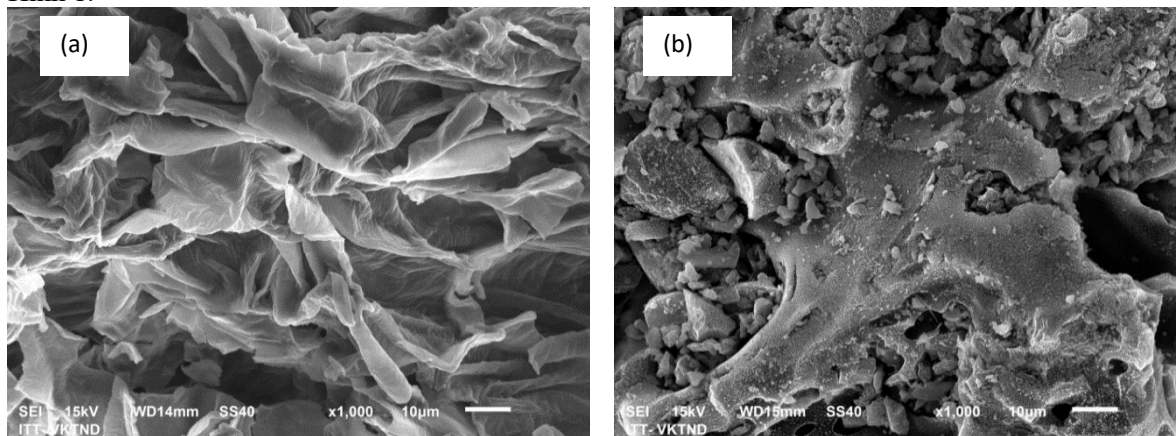
$$\ln K_D = -\frac{\Delta G^\circ}{RT} = -\frac{\Delta H^\circ}{RT} + \frac{\Delta S^\circ}{R} \quad (6)$$

Trong đó: K_D : hằng số cân bằng; R : hằng số khí ($R = 8,314 \text{ J/mol.K}$); T : nhiệt độ (K).

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Một số đặc trưng của nguyên liệu và TBĐ (mẫu M11)

Kết quả xác định hình thái học bề mặt của nguyên liệu ban đầu và của TBĐ được trình bày ở Hình 1.



Hình 1. Ảnh SEM của nguyên liệu (a) và của TBĐ (b)

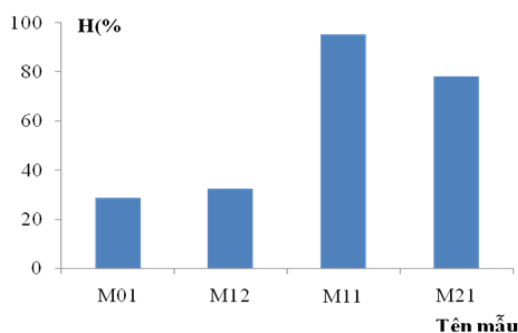
Kết quả ảnh SEM cho thấy hình thái bề mặt và cấu trúc của TBĐ đã có sự thay đổi đáng kể sau quá trình hoạt hóa bằng ZnCl_2 và xử lý nhiệt. Trên bề mặt TBĐ xuất hiện nhiều lỗ xốp, tuy kích thước không đồng đều, nhưng những lỗ xốp này chính là “trung tâm” hấp phụ của TBĐ. Điều này cho phép ta dự đoán khả năng hấp phụ của TBĐ sẽ tốt hơn bã đậu nành (nguyên liệu ban đầu).

Theo [10], kết quả đo diện tích bề mặt riêng theo phương pháp BET của mẫu nguyên liệu ban đầu là $1,23 \text{ m}^2/\text{g}$; của TBĐ là $605,7 \text{ m}^2/\text{g}$. Sự khác nhau rõ rệt về ảnh SEM và diện tích bề mặt riêng của TBĐ so với nguyên liệu ban đầu cho thấy TBĐ có khả năng hấp phụ tốt hơn nguyên liệu.

Kết quả xác định điểm đẳng điện của TBĐ là $pI = 6,35$ [10]. Điều này cho thấy khi $pH < pI$ thì bề mặt TBĐ tích điện dương, khi $pH > pI$ thì bề mặt TBĐ tích điện âm.

3.2 Khảo sát sơ bộ khả năng hấp phụ MO của các mẫu TBĐ

Kết quả khảo sát sơ bộ khả năng hấp phụ MO của các mẫu TBĐ chế tạo được thể hiện ở Hình 2.



Hình 2. Biểu đồ so sánh khả năng hấp phụ MO của các mẫu TBĐ

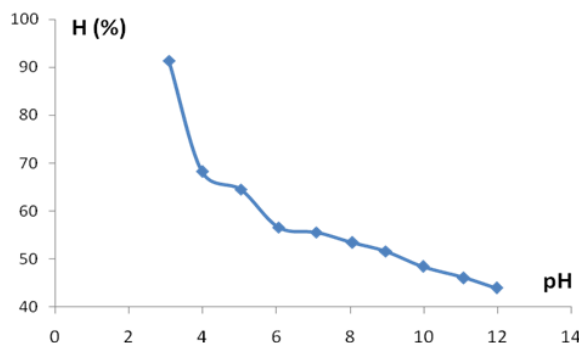
Nhận xét: Kết quả ở Hình 2 cho thấy trong cùng điều kiện thì hiệu suất hấp phụ MO của mẫu M11 cao hơn so với các mẫu khác và mẫu thấp nhất là M01 (mẫu không hoạt hóa bằng ZnCl_2). Điều này cho thấy tác dụng hoạt hóa của ZnCl_2 , đồng thời lượng ZnCl_2 đưa vào mẫu cũng phải phù hợp, ít (mẫu M12) có thể không đủ hoạt hóa bề mặt hay nhiều (mẫu M21) có thể làm giảm

diện tích bề mặt nên khả năng hấp phụ MO giảm. Từ kết quả trên, chọn mẫu M11 cho các nghiên cứu tiếp theo (Các mẫu TBĐ được nhắc đến trong các mục tiếp theo là mẫu M11).

3.3 Khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ MO của TBĐ

3.3.1 Ảnh hưởng của pH

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của pH đến quá trình hấp phụ MO của TBĐ được chỉ ra ở Hình 3.

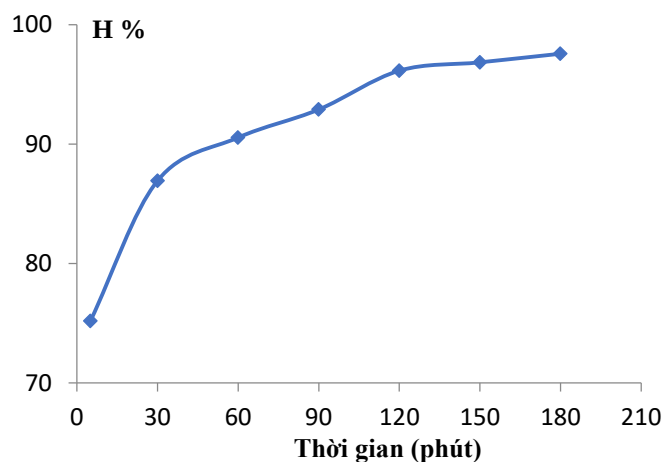


Hình 3. Ảnh hưởng của pH đến dung lượng hấp phụ MO

Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng, trong miền pH khảo sát, hiệu suất hấp phụ MO của TBĐ giảm khi pH tăng. Điều này cho thấy trong môi trường kiềm không thuận lợi cho quá trình hấp phụ MO lên trên bề mặt TBĐ, nguyên nhân là đã xuất hiện sự cạnh tranh hấp phụ của gốc OH^- và MO lên trên các tâm hoạt động. Mặt khác mức độ congestion của MO khá lớn so với OH^- nên hiệu quả hấp phụ sẽ giảm xuống trong môi trường có nhiều gốc OH^- . Vì vậy ở pH cao sẽ không thuận lợi cho sự hấp phụ MO. Với các kết quả thu được, chúng tôi nhận thấy giá trị pH tối ưu cho quá trình hấp phụ MO của TBĐ là 3,08. Kết quả thu được này cũng trùng hợp với nhiều kết quả nghiên cứu hấp phụ MO trên các vật liệu khác nhau [5], [6].

3.3.2 Ảnh hưởng của thời gian

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của thời gian đến khả năng hấp phụ MO của TBĐ được trình bày ở Hình 4.



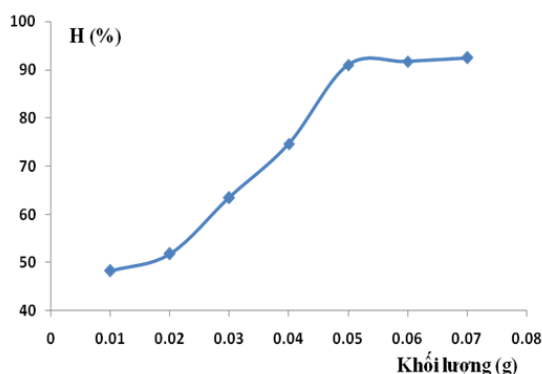
Hình 4. Ảnh hưởng của thời gian đến hiệu suất hấp phụ MO

Kết quả Hình 4 cho thấy: Khi thời gian hấp phụ tăng thì hiệu suất hấp phụ tăng. Trong khoảng thời gian từ 30 ÷ 180 phút hiệu suất hấp phụ tăng tương đối nhanh và dần ổn định trong khoảng thời gian từ 120 ÷ 180 phút. Hiệu suất hấp phụ phụ thuộc vào thời gian tiếp xúc, thời gian

tiếp xúc càng nhiều thì hiệu suất hấp phụ càng cao, đến một thời điểm nhất định, hiệu suất hấp phụ không tăng do quá trình hấp phụ đã đạt cân bằng (trong trường hợp này là 120 phút). Do vậy, chúng tôi chọn thời gian đạt cân bằng hấp phụ là 120 phút và sử dụng kết quả này cho các thí nghiệm tiếp theo.

3.3.3 Ảnh hưởng của khối lượng

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của khối lượng đến khả năng hấp phụ MO của TBĐ được trình bày ở Hình 5.



Hình 5. Đồ thị biểu diễn ảnh hưởng của khối lượng TBĐ đến hiệu suất hấp phụ MO

Kết quả thực nghiệm cho thấy, khi khối lượng TBĐ tăng thì hiệu suất hấp phụ MO tăng. Trong khoảng khối lượng TBĐ tăng từ 0,01÷0,05g, hiệu suất hấp phụ tăng nhanh. Trong khoảng khối lượng tăng từ 0,05÷0,07g, hiệu suất hấp phụ tăng chậm và tương đối ổn định (từ 91,01 – 92,53%). Điều này có thể lí giải là do sự tăng lên của diện tích bề mặt, sự tăng lên số vị trí các tâm hấp phụ của TBĐ và do sự cân bằng nồng độ MO trong dung dịch và trên bề mặt chất rắn. Vì vậy, chọn khối lượng TBĐ là 0,05 gam cho các nghiên cứu tiếp theo.

3.3.4 Ảnh hưởng của nhiệt độ

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đến dung lượng và hiệu suất hấp phụ MO của TBĐ được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Sự phụ thuộc dung lượng và hiệu suất hấp phụ MO của TBĐ vào nhiệt độ

T(K)	C _o (mg/L)	C _{cb} (mg/L)	q (mg/g)	H (%)
298	214,47	19,28	139,42	91,01
303		22,18	137,35	89,66
313		32,67	129,86	84,77
323		35,93	127,53	83,25

Kết quả Bảng 1 cho thấy trong khoảng nhiệt độ khảo sát từ 298 đến 323K khi nhiệt độ tăng thì dung lượng và hiệu suất hấp phụ MO của TBĐ đều giảm. Điều này được giải thích như sau: Do hấp phụ là quá trình tỏa nhiệt nên khi tăng nhiệt độ cân bằng hấp phụ chuyển dịch theo chiều nghịch tức là làm tăng nồng độ chất bị hấp phụ trong dung dịch dẫn đến làm giảm hiệu suất và dung lượng hấp phụ của quá trình hấp phụ. Từ các kết quả thu được và dựa vào các phương trình của nhiệt động lực học tính được các thông số nhiệt động. Kết quả được chỉ ra trong Bảng 2.

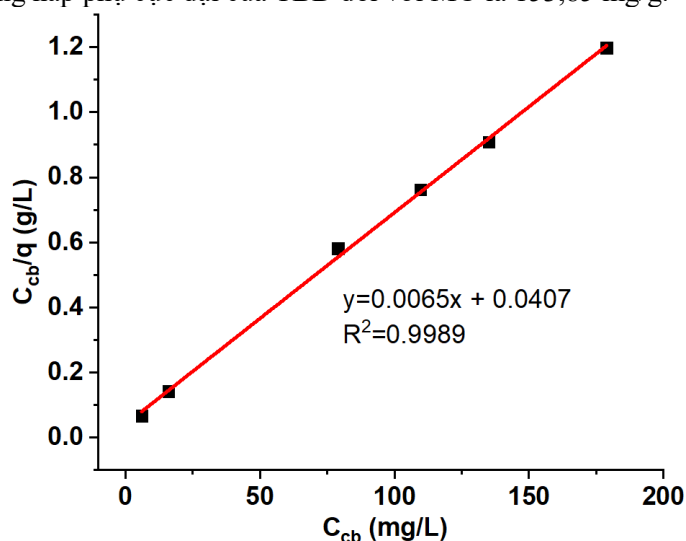
Kết quả Bảng 2 cho thấy: Giá trị năng lượng tự do (ΔG^0) thu được có giá trị âm chứng tỏ quá trình hấp phụ MO của TBĐ là quá trình tự xảy ra; giá trị biến thiên năng lượng entanpi (ΔH^0) có giá trị âm cho thấy quá trình hấp phụ là quá trình tỏa nhiệt.

Bảng 2. Các thông số nhiệt động đối với quá trình hấp phụ MO của TBĐ

C_o (mg/L)	$1/T(K^{-1})$	$\ln K_p$	ΔG^o (kJ/mol)	ΔH^o (kJ/mol)	ΔS^o (kJ/mol.K)
204,05	0,0034	7,23	-17,91	-122,99	-0,35
	0,0033	6,19	-15,60		
	0,0032	3,97	-10,34		
	0,0031	3,55	-9,53		

3.3.5 Ảnh hưởng của nồng độ MO ban đầu và xác định dung lượng hấp phụ cực đại

Từ các kết quả thực nghiệm nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ MO ban đầu đến dung lượng hấp phụ của TBĐ, dựa vào phương trình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir dạng tuyến tính (Hình 6) tính được dung lượng hấp phụ cực đại của TBĐ đối với MO là 153,85 mg/g.

**Hình 6.** Đường đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir dạng tuyến tính của TBĐ đối với MO

Dung lượng hấp phụ MO của TBĐ chế tạo được cao hơn so với một số than hoạt tính chế tạo từ các nguồn khác như tro trấu, vỏ cây keo lá liềm, nhưng thấp hơn so với than thân tre và than chế tạo từ lignin. Kết quả này cũng cho thấy khả năng hấp phụ MO của các loại than hoạt tính phụ thuộc vào bản chất nguyên liệu đầu chế tạo than và quy trình chế tạo cũng như tác nhân hoạt hóa. Dữ liệu cụ thể được trình bày ở Bảng 3.

Bảng 3. Dung lượng hấp phụ MO của TBĐ và một số than khác

STT	Nguyên liệu đầu chế tạo than	Tác nhân hoạt hóa	q_{max} (mg/g)	Tài liệu tham khảo
1	Thân tre	KOH	312,50	[5]
2	Than Trà Bắc	HNO ₃ , H ₂ O ₂	9,34	[6]
3	Lignin	ZnCl ₂	300,00	[7]
4	Vỏ cây keo lá liềm	-	10,36	[8]
5	Tro trấu	HF	33,50	[9]
6	Bã đậu nành	ZnCl ₂	153,85	Bài báo này

4. Kết luận

Kết quả khảo sát khả năng hấp phụ MO của 04 mẫu TBĐ chế tạo được cho thấy, mẫu có tỉ lệ V_{ZnCl_2} (mL): khối lượng nguyên liệu (g) là 1:1 cho khả năng hấp phụ MO cao nhất. Sự hấp phụ MO của TBĐ đã được nghiên cứu dưới các điều kiện thí nghiệm khác nhau. Kết quả thu được: pH tốt nhất cho sự hấp phụ của TBĐ đối với MO là ở khoảng pH ~3; Thời gian đạt cân bằng hấp phụ của TBĐ đối với MO là 120 phút. Khối lượng TBĐ cần thiết cho sự hấp phụ MO tốt nhất là

0,05 gam/25 mL dung dịch MO. Khi tăng nhiệt độ từ 298÷323K (± 1 K) thì hiệu suất hấp phụ giảm; các tính toán nhiệt động cho thấy quá trình hấp phụ MO trên TBĐ là quá trình tự xảy ra và tỏa nhiệt. Theo mô hình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir xác định được dung lượng hấp phụ cực đại của TBĐ đối với MO là 153,85 mg/g.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] C. Djilani, R. Zaghdoudi, and F. Djazi, "Adsorption of dyes on activated carbon prepared from apricot stones and commercial activated carbon," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol.53, pp.112-121, 2015.
- [2] Q. Miao, Y. Tang, J. Xu, X. Liu, L. Xiao, and Q. Chen, "Activated carbon prepared from soybean straw for phenol adsorption," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 44, pp. 458-465, 2013.
- [3] S. Yakout, M. Hassan, M. R. El-Zaidy, O. H. Shair, and A. M. Salih, "Kinetic study of methyl orange adsorption on activated carbon derived from pine (*Pinus strobus*) sawdust," *BioRes.*, vol. 14, no.2, pp. 4560-4574, 2019.
- [4] L. Vu, "Utilizing the waste residues from tapioca starch and galangal production to prepare activated carbon for environmental treatment," Master thesis of environmental science, University of Natural Sciences - Vietnam National University, Hanoi, 2012.
- [5] T. A. T. Nguyen, H. T. T. Nguyen, and H. T. Vu, "Preparation of active carbons from bamboo stalks and investigation of methylene orange adsorption of it," *Journal of Analytical Sciences*, vol. 26, no. 4A, pp. 136-141, 2021.
- [6] H. V. Nguyen, "Modification of the surface of Tra Bac activated carbon and investigation of the adsorption capacity of some dyes in textile dyeing wastewater," *Journal of Forestry Science and Technology*, no. 1, pp.56-60, 2017.
- [7] K. Mahmoudi, N. Hamdi, A. Kriaa, and E. Srasra, "Adsorption of methyl orange using activated carbon prepared from lignin by ZnCl_2 treatment," *Russian Journal of Physical Chemistry A*, vol. 8, no. 86, pp. 1294-1300, 2012.
- [8] T. N. Nguyen, K. Q. Dang, and T. Nguyen, "Adsorptive removal of methyl orange and methylene blue from aqueous solutions with *Acacia crassicaarpa* activated carbon," *Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering*, vol.63, no.4, pp. 23-27, 2021.
- [9] T. P. Phan, T. T. Nguyen, and T. D. T. Ngo, "Characterization and adsorption capacity of methyl orange of activated rice husk ash," *Can Tho University Journal of Science*, vol. 42, pp. 50-57, 2016.
- [10] H. T. Vu and H. T. Dang, "Study on the adsorption capacity of methylene blue on activated carbon prepared from soybean residue," *TNU Journal of Science and Technology*, vol.208, no.15, pp.35-42, 2019.