



## Hấp phụ phẩm nhuộm xanh methylen trong nước bằng vật liệu than sinh học từ vỏ mít: nghiên cứu các mô hình đẳng nhiệt hấp phụ

### Adsorption of methylene blue from aqueous solution by biochar prepared from jackfruit peel: isotherm model studies

Loc Ton-That<sup>1,2</sup>, Hoang-Dung Pham<sup>3</sup>, Thi-Ngoc-Linh Huynh<sup>3</sup>, Bich-Ngoc Duong<sup>4,6</sup>, Thi-Thuy Luu<sup>1,2</sup>, Duy-Khoi Nguyen<sup>1,2</sup>, Ngoc-An Nguyen<sup>7</sup>, Thien-Hoang Ho<sup>5</sup>, Van-Hien Pham<sup>6,7</sup>, Van-Phuc Dinh<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Future Materials & Devices Laboratory, Institute of Fundamental and Applied Sciences, Duy Tan University, Ho Chi Minh City 700000, Viet Nam

<sup>2</sup>Faculty of Natural Sciences, Duy Tan University, Da Nang City 550000, Viet Nam

<sup>3</sup>Can Tho Department of Science and Technology, Can Tho City, 900000, Viet Nam

<sup>4</sup>Southern Institute of Ecology, Vietnam Academy of Science and Technology, Ho Chi Minh City 700000, Viet Nam

<sup>5</sup>Dong Nai University, 4 Le Quy Don Street, Dong Nai province, 76100, Vietnam

<sup>6</sup>Institute of Applied Materials Science, VAST, TL29, Thanh Loc Ward, Dist. 12, Ho Chi Minh City 700000, Vietnam

<sup>7</sup>Graduate University of Science and Technology, VAST, TL29, Thanh Loc Ward, Dist. 12, Ho Chi Minh City 700000, Vietnam

\* Email: [dinhvanphuc@duytan.edu.vn](mailto:dinhvanphuc@duytan.edu.vn)

#### ARTICLE INFO

Received: 5/7/2022

Accepted: 30/8/2022

Published: 05/9/2022

#### Keywords:

Isotherm models; adsorption; biochar; Jackfruit peel; dye treatment

#### ABSTRACT

In this study, biochar derived from Jackfruit peel (JA) via the pyrolysis at 500 °C for 2 h was used as an adsorbent to remove Methylene Blue (MB) from aqueous solution. Effects of pH, contact time, and initial MB concentration were investigated. Isotherm models, such as Langmuir, Freundlich, Sips, and Dubinin-Radushkevich, were applied to estimate the adsorption in nature. The results indicated that the Sips and Freundlich models gave the best fit with experimental datas. The maximum adsorption capacity of MB calculated from Langmuir was 39.87 mg/g at 306K, pH = 11, and time = 60 min. The E value evaluated from Dubinin-Radushkevich smaller than 8 kJ/mol indicated that the MB adsorption of JA followed a physical process.

#### Giới thiệu chung

Cùng với sự phát triển mạnh mẽ của ngành công nghiệp phẩm nhuộm, việc xử lý nước thải dệt nhuộm là một trong những vấn đề thiết thực và cấp bách. Thật vậy, trong nước thải dệt nhuộm, ngoài các chất rắn lơ lửng, nồng độ COD và BOD cao, còn có một lượng lớn các chất màu độc hại [1]. Chúng ảnh hưởng trực tiếp đến đời sống, sức khỏe con người cũng như hệ sinh thái thủy

sinh [2]. Có nhiều phương pháp xử lý nước thải, đặc biệt là nước thải dệt nhuộm như: Fenton [3], keo tụ [4], hấp phụ [5] và một số phương pháp khác. Trong đó, hấp phụ là một trong những phương pháp tối ưu vì đơn giản, dễ thực hiện và tính hiệu quả cao [6]. Có nhiều vật liệu hấp phụ đã được sử dụng để loại bỏ hiệu quả các chất màu ra khỏi dung dịch nước như: MnO<sub>2</sub> [7], LDH [8] và than sinh học [9,10]. Trong đó, than sinh học nhận được sự quan tâm của đông đảo các nhà khoa học trên

thế giới cũng như trong nước vì hầu hết chúng được tổng hợp từ các nguồn nguyên liệu phụ phẩm hoặc có giá thành thấp như bã mía, vỏ bưởi, vỏ thanh long [11-13]. Quá trình tổng hợp than sinh học khá đơn giản, thân thiện với môi trường và vật liệu có nhiều đặc tính ưu việt như độ bền nhiệt, bền hóa học và độ xốp cao. Do đó, nghiên cứu tổng hợp than sinh học từ các nguồn phụ phẩm nông nghiệp, ứng dụng trong hấp phụ xử lý các chất màu độc hại có nhiều ý nghĩa thiết thực.

Tuy nhiên, tại Việt Nam, số lượng các nghiên cứu trong lĩnh vực nói trên còn khá ít, đặc biệt là các nghiên cứu về xử lý các chất màu. Với khí hậu đặc trưng là nhiệt đới gió mùa, Việt Nam là một trong những nước có nguồn phụ phẩm nông nghiệp khá dồi dào và phần lớn chúng được thải trực tiếp ra môi trường gây ra tình trạng ô nhiễm đất, nước, không khí. Trong đó, trái mít là một trong những loại trái cây giàu dinh dưỡng [14], phổ biến, và rất được ưa chuộng tại Việt Nam. Điều đó đồng nghĩa với việc một lượng rất lớn rác thải từ vỏ mít được thải ra môi trường mỗi ngày, trong đó chôn lấp hoặc đốt là một trong những giải pháp phổ biến đã được sử dụng. Chính vì vậy, trong nghiên cứu này, chúng tôi tận dụng nguồn phụ phẩm nông nghiệp từ vỏ mít để tổng hợp vật liệu than sinh học có độ xốp cao, giá thành thấp, thân thiện với môi trường để làm chất hấp phụ, xử lý chất màu MB trong dung dịch nước, hướng đến xử lý nước thải dệt nhuộm trong quy mô công nghiệp. Đồng thời, đẳng nhiệt hấp phụ MB bởi vật liệu than sinh học tổng hợp từ vỏ mít cũng sẽ được nghiên cứu chi tiết.

## Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

### Tổng hợp vật liệu

Vỏ mít thái được thu thập từ các chợ trong khu vực Quận 12, TP.HCM. Vỏ mít sau khi thu về được loại bỏ

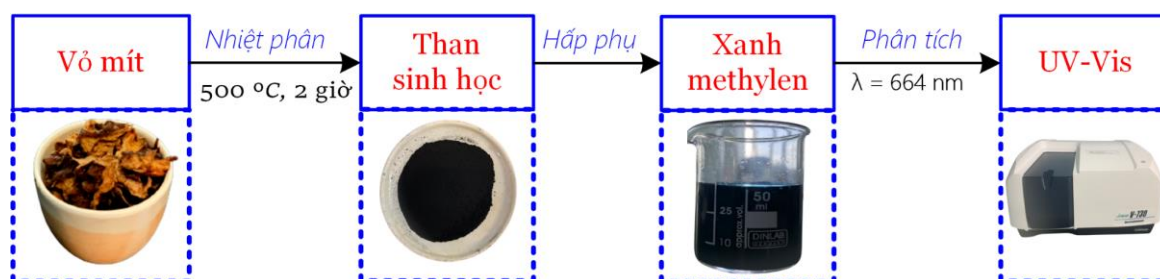
phần xơ, cắt thành miếng nhỏ kích thước khoảng 1-2 cm<sup>2</sup> và được sấy ở nhiệt độ 80 °C trong 48 giờ. Sau đó vỏ mít được nhiệt phân ở nhiệt độ 500 °C trong 2 giờ thu được vật liệu than sinh học. Vật liệu sau khi nung được rửa nhiều lần bằng etanol và nước cất cho đến khi pH trung tính, sau đó được sấy khô ở nhiệt độ 80 °C trong 8 giờ.

### Quy trình và phương pháp nghiên cứu

Quy trình nghiên cứu tổng hợp vật liệu than sinh học từ JA và phương pháp đánh giá hiệu quả hấp phụ MB được thể hiện trong Hình 1.

Phương pháp nghiên cứu được chia thành 04 bước như sau:

- Bước 1: Thu thập và lựa chọn vật liệu thô từ vỏ mít. Vỏ mít được loại bỏ phần xơ bên trong và được cắt thành từng miếng nhỏ, sau đó được sấy khô ở nhiệt độ 80 °C
- Bước 2: Tổng hợp vật liệu than sinh học từ vỏ mít. Nhiệt phân vỏ mít đã sấy khô ở 500 °C trong 2 giờ. Sau đó rửa vật liệu đến pH trung tính bằng etanol và nước cất. Cuối cùng, vật liệu được nghiền mịn, sấy khô để sử dụng cho quá trình hấp phụ.
- Bước 3: Thí nghiệm hấp phụ xanh methylen trong nước bằng vật liệu than sinh học từ vỏ mít. Tại nồng độ MB và giá trị pH xác định, thể tích MB được sử dụng cho quá trình hấp phụ là 50 mL, cùng khối lượng vật liệu là 0,1 gam, ở nhiệt độ phòng. Quá trình hấp phụ được thực hiện trên máy lắc mẫu ổn nhiệt ở tốc độ 200 vòng/phút. Các thí nghiệm bao gồm khảo sát điểm đẳng điện (pH<sub>pzc</sub>), ảnh hưởng của pH, thời gian và nồng độ đầu của MB. Mỗi thí nghiệm được lặp 03 lần.
- Bước 4: Sử dụng thiết bị quang phổ tử ngoại – khả kiến (UV-Vis) JASCO V-730 tại bước sóng λ<sub>max</sub> = 664 nm để xác định nồng độ của xanh methylen (MB) trước và sau quá trình hấp phụ.



Hình 1: Quy trình tổng hợp vật liệu than sinh học từ vỏ mít và loại bỏ xanh methylen trong dung dịch nước

Dung lượng hấp phụ và hiệu suất loại bỏ MB bởi vật liệu than sinh học từ JA được tính theo công thức (1) và (2) như sau:

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

$$H (\%) = \frac{C_0 - C_e}{m} \times 100 \quad (2)$$

Trong đó:

-  $C_0$  và  $C_e$  (mg/L) lần lượt là nồng độ của MB tại thời điểm ban đầu và sau quá trình hấp phụ;

-  $m$  (g) là khối lượng của chất hấp phụ và  $V$  (L) là thể tích dung dịch;

-  $q_e$  (mg/g) là dung lượng hấp phụ MB;

-  $H$  (%): hiệu suất hấp phụ MB.

### Phương trình đẳng nhiệt hấp phụ

Các phương trình đẳng nhiệt được ứng dụng để ước tính khả năng và xu hướng hấp phụ MB bởi vật liệu than sinh học từ vỏ mít bao gồm Langmuir, Freundlich, Sips và Dubinin-Radushkevich [15-17]. Các thông số đẳng nhiệt hấp phụ được tính toán theo phương pháp phi tuyến tính trên phần mềm origin theo công thức dưới đây:

Langmuir:

$$q_e = \frac{Q_{\max} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (3)$$

Freundlich:

$$q_e = K_F C_e^{n_F} \quad (4)$$

Sips:

$$q_e = \frac{Q_{\max} K_S C_e^{1/n_S}}{1 + K_S C_e^{1/n_S}} \quad (5)$$

Dubinin-Radushkevich:

$$q_e = (q_{mDR}) \exp(-k_{DR} \varepsilon^2) \quad (6)$$

$$\varepsilon = RT \ln \frac{C_s}{C_e} \quad (7)$$

Trong đó:

-  $q_e$  và  $Q_{\max}$  (mg/g) là dung lượng hấp phụ và dung lượng hấp phụ tối đa theo Langmuir;

-  $K_L$  (L/mg) là hằng số cân bằng hấp phụ Langmuir;

-  $K_F$  ((mg/g)(L/mg)<sup>n</sup>) là hằng số hấp phụ Freundlich và  $n_F$  (0 < n < 1) là hằng số mũ của phương trình Freundlich.

-  $K_S$  (L/mg) và  $n_S$  là hằng số mô hình Sips.

-  $q_{mDR}$  (mg/g) là lượng hấp phụ tối đa theo Dubinin-

Radushkevich,

-  $K_{DR}$  (mol<sup>2</sup>/kJ<sup>2</sup>) là hằng số Dubinin-Radushkevich,  $\varepsilon$  (kJ/mol) là tiềm năng hấp phụ dựa trên thế lý thuyết của Polanyi.

### Các phương pháp phân tích

Diện tích bề mặt của than sinh học từ vỏ mít được đo trên thiết bị Tristar-3030 (Micromeritics-USA). Phương pháp đẳng nhiệt hấp phụ-khử hấp phụ N<sub>2</sub> được thực hiện ở nhiệt độ 77 K. Giảm nhiễu XRD được đo trên thiết bị D2-Pharaser, Brucker với tia bức xạ CuK $\alpha$  có bước sóng  $\lambda = 1,5406$  Å, công suất 40 KV. Góc quét 2 $\theta$  từ 5° đến 80°, tốc độ quét 1°/phút, nhiệt độ phòng là 25 °C. Ảnh SEM được đo trên thiết bị Hitachi S-4800 hoạt động ở 15 kV với độ phóng đại 1000-10000 lần. Điểm đẳng điện (pH<sub>pzc</sub>) của vật liệu được xác định bằng phương pháp muối [18]. Cụ thể, cho 0,1 gam vật liệu vào dây bình thủy tinh chứa 50 mL KCl 0,1 M có pH ban đầu từ 2 đến 11 (được điều chỉnh bằng dung dịch HNO<sub>3</sub> 1M và NaOH 1M). Sau đó, hỗn hợp được lắc trong 24 giờ ở nhiệt độ phòng. Đồ thị  $\Delta pH = pH_{sau} - pH_{ban đầu}$  và giá trị pH ban đầu được sử dụng để xác định giá trị pH<sub>pzc</sub> (giao điểm của đồ thị với trục hoành). Giá trị pH<sub>pzc</sub> được sử dụng để mô tả điều kiện có mật độ điện tích trên bề mặt vật liệu bằng 0.

### Kết quả và thảo luận

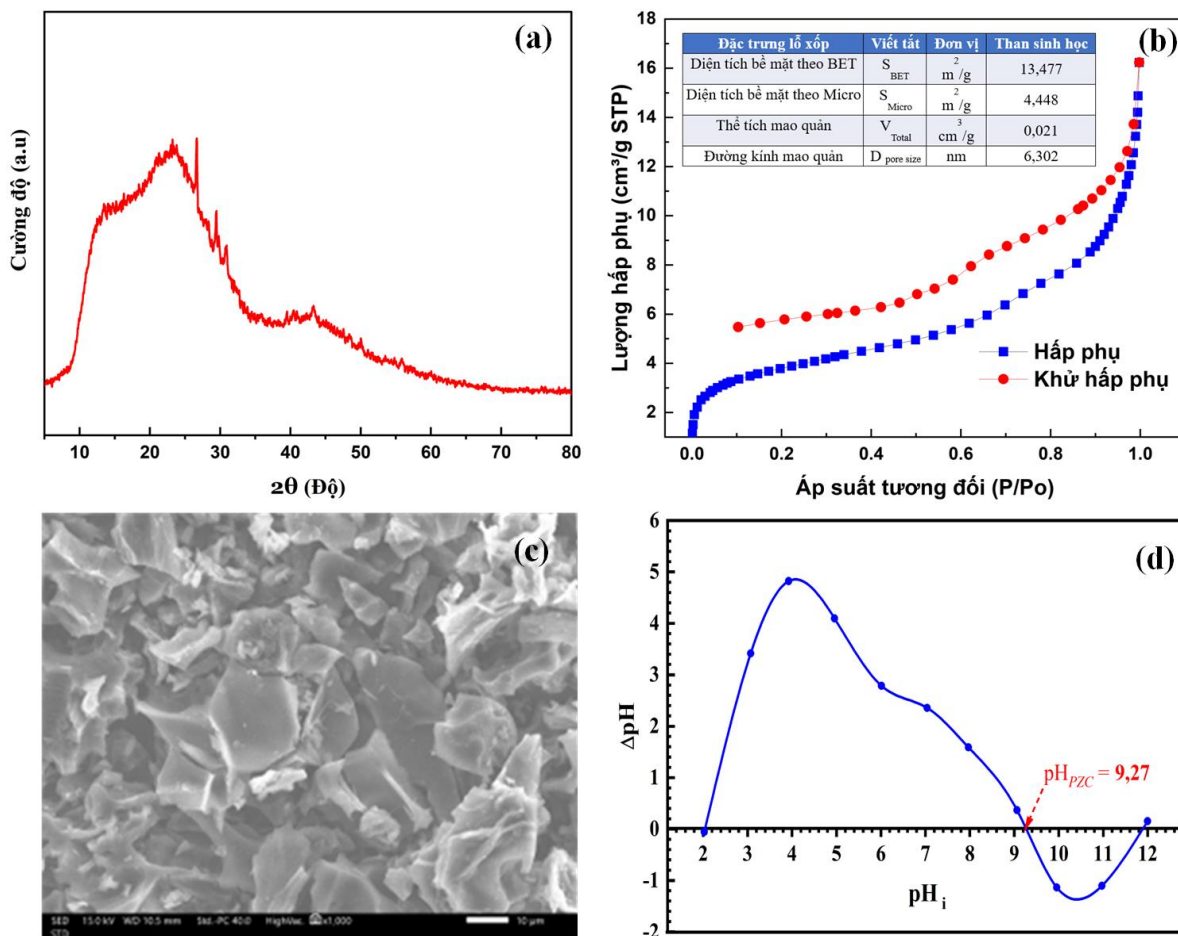
#### Các đặc trưng hóa lý của vật liệu than sinh học tổng hợp từ vỏ mít

Kết quả phân tích nhiễu xạ tia X (XRD), hiển vi điện tử quét (SEM), đẳng nhiệt hấp phụ - giải hấp N<sub>2</sub> và điểm đẳng điện (pH<sub>pzc</sub>) của vật liệu than sinh học được trình bày trong Hình 2. Giảm nhiễu XRD (Hình 2a) thể hiện cấu trúc đặc trưng của vật liệu than sinh học nói chung. Cụ thể, peak nhiễu xạ ở góc 2 $\theta = 15-25^\circ$  đặc trưng cho cấu trúc xếp lớp của các vòng cacbon thơm (graphite, d<sub>002</sub>). Một đỉnh nhiễu xạ khác có cường độ yếu hơn ở góc 2 $\theta = 43^\circ$  được cho là do sự xuất hiện của cấu trúc của cacbon (graphite, d<sub>101</sub>). Kết quả này phù hợp với một số công bố gần đây của các nhóm tác giả Van-Phuc Dinh [19] và Yali Liu [20].

Đường cong đẳng nhiệt hấp phụ-giải hấp N<sub>2</sub> ở 77 K của vật liệu than sinh học được trình bày trong Hình 2b. Khi thay đổi giá trị áp suất  $P/P_0$ , cả hai đường cong hấp phụ và giải hấp đều tuân theo mô hình đẳng nhiệt loại IV, đây là mô hình đặc trưng điển hình của vật liệu mesoporous [21,22]. Kết quả cho thấy vật liệu than sinh

học có diện tích bề mặt khoảng  $13 \text{ m}^2/\text{g}$ , thể tích lỗ xốp khoảng  $0,02 \text{ cm}^3/\text{g}$  và kích thước lỗ xốp trung bình khoảng  $6,3 \text{ nm}$ . Diện tích bề mặt của vật liệu than sinh học

học từ vỏ mít cao hơn so với than sinh học tổng hợp từ một số nguồn phụ phẩm khác như: vỏ bưởi ( $3,278 \text{ m}^2/\text{g}$ ) [13] và vỏ trấu ( $7,14 \text{ m}^2/\text{g}$ ) [23].



Hình 2: Một số đặc trưng cấu trúc, bề mặt của vật liệu than sinh học từ vỏ mít: a (XRD), b (BET), c (SEM), và d (điểm đẳng điện,  $\text{pH}_{\text{pzc}}$ )

Ảnh SEM (Hình 2c) cho thấy vật liệu than sinh học tổng hợp từ vỏ mít có dạng vô định hình, phân bố thành các mảng và bề mặt không đồng nhất. Kết quả này phù hợp nghiên cứu của nhóm tác giả Banu [24]. Giá trị  $\text{pH}_{\text{pzc}}$  của vật liệu than sinh học phụ thuộc nhiều vào tính chất hóa học và đặc tính điện tử của các nhóm chức trên bề mặt của vật liệu. Giá trị pH tại điểm đẳng điện ( $\text{pH}_{\text{pzc}} = 9,27$ ) của vật liệu than sinh học từ vỏ mít được thực hiện bằng phương pháp muối [18] và được trình bày trong Hình 2d. Giá trị  $\text{pH}_{\text{pzc}}$  giúp xác định được điện tích của bề mặt vật liệu trong dung dịch ở các giá trị pH khác nhau, đây là cơ sở cho việc xác định cơ chế hấp phụ MB.

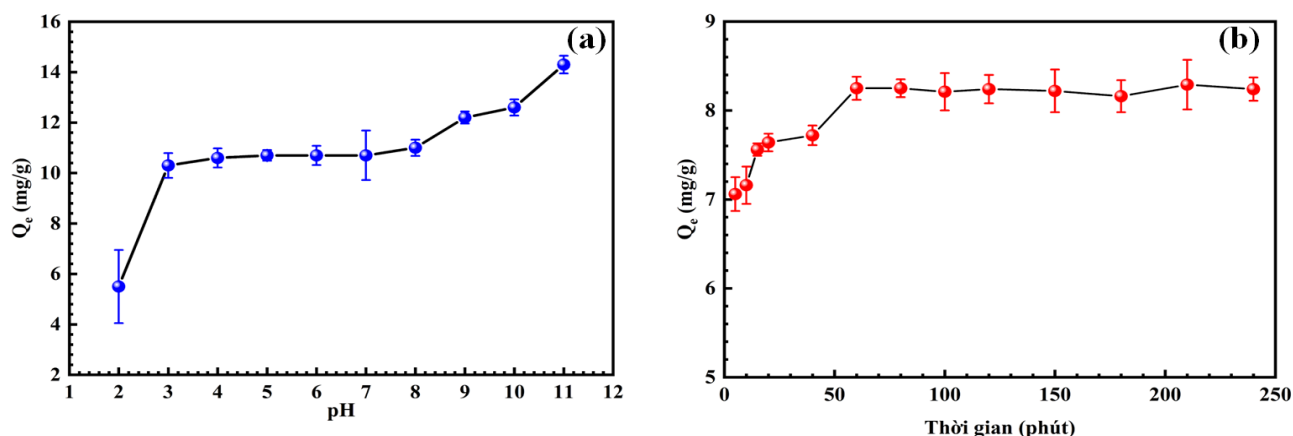
**Ảnh hưởng của pH dung dịch ban đầu và thời gian đến quá trình hấp phụ**

pH là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến sự hấp phụ của các chất hấp phụ lên bề mặt của vật liệu dựa trên sự tương tác tĩnh điện. Sự ảnh hưởng

của pH dung dịch ban đầu đến khả năng hấp phụ MB lên vật liệu JA được khảo sát từ 2 - 11 tại nồng độ MB ban đầu  $\text{Co} = \sim 45 \text{ mg/L}$ ,  $t = 60 \text{ phút}$ ,  $T = 306 \text{ K}$  (Hình 3a). Kết quả cho thấy khi pH tăng thì hiệu suất hấp phụ và dung lượng hấp phụ đều tăng. Tại pH dung dịch ban đầu thấp ( $\text{pH} = 2$ ) khả năng hấp phụ MB của vật liệu là không đáng kể. Tuy nhiên, khả năng hấp phụ MB tăng mạnh và đạt giá trị ổn định ở  $\text{pH} = 3-8$ . Khi  $\text{pH} > 9$ , khả năng hấp phụ MB của vật liệu JA có xu hướng tiếp tục tăng và đạt giá trị cực đại tại  $\text{pH} = 11$ . Điều này có thể được giải thích như sau: khi giá trị pH của dung dịch lớn hơn  $\text{pH}_{\text{pzc}}$  ( $\text{pH} > \text{pH}_{\text{pzc}}$ ), bề mặt của vật liệu hấp phụ mang điện tích âm, thuận lợi cho quá trình hấp phụ cation nên xuất hiện lực hút tĩnh điện giữa cation MB và bề mặt vật liệu JA. Do đó, ở các pH cao, hiệu suất hấp phụ tăng mạnh. Ngược lại, khi giá trị pH của dung dịch nhỏ hơn  $\text{pH}_{\text{pzc}}$  ( $\text{pH} < \text{pH}_{\text{pzc}}$ ), bề mặt vật liệu tích điện dương, thuận lợi cho quá trình hấp phụ anion nên xuất hiện lực đẩy giữa cation MB và bề mặt vật liệu JA. Ngoài

ra, ở khoảng pH thấp, nồng độ  $H^+$  lớn nên xảy ra sự hấp phụ cạnh tranh giữa các cation MB và các cation  $H^+$ . Vì vậy, ở giá trị pH thấp, hiệu suất hấp phụ thường không cao. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu hấp phụ MB đối với vật liệu than sinh học có nguồn gốc từ giấy thải [17] và than sinh học từ vỏ thanh long [18]. Như vậy, khả năng hấp phụ MB của vật liệu JA phụ thuộc nhiều vào pH dung dịch ban đầu. Quá trình hấp phụ MB đạt hiệu quả cao trong môi trường kiềm với  $pH > 9,3$  và đạt giá trị tối ưu tại  $pH = 11$ . Một số kết quả tương tự cũng đã được báo cáo trong một số nghiên cứu sử dụng các chất hấp phụ từ than sinh học có nguồn gốc khác nhau như: hạt ngô [25], bùn thải [26], bã cà phê [27] để hấp phụ xanh methylen trong dung dịch nước. Để xác định thời gian cân bằng của quá trình hấp phụ MB trên vật liệu JA, ảnh hưởng của thời gian tiếp xúc đến dung lượng hấp phụ đã được nghiên cứu và kết quả được trình bày trong Hình 3b. Quá trình hấp phụ được khảo sát từ 5

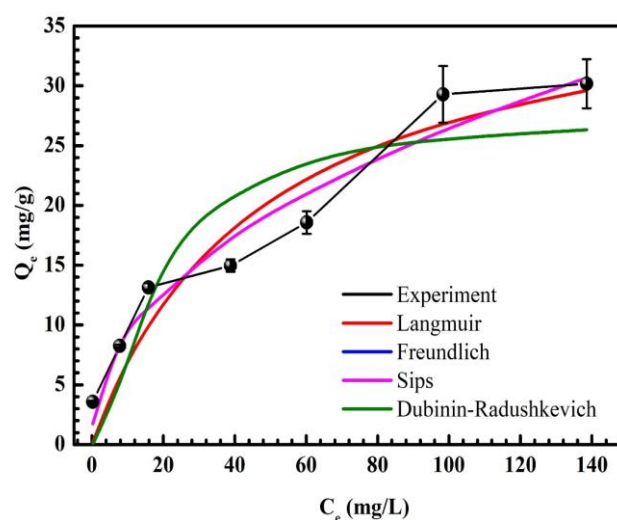
đến 240 phút tại nồng độ MB ban đầu  $C_0 = 25 \text{ mg/L}$ ,  $pH = 11$ ,  $T = 306 \text{ K}$  và tỷ lệ rắn/lỏng là  $0,5 \text{ g/L}$ . Kết quả cho thấy khả năng hấp phụ MB của vật liệu tăng mạnh trong 60 phút đầu tiên. Nguyên nhân là do trong giai đoạn đầu, số lượng tâm hấp phụ trên bề mặt vật liệu lớn. Sau 60 phút, bề mặt của vật liệu hấp phụ đã được lấp đầy bởi các cation MB nên quá trình hấp phụ đạt giá trị bão hòa với dung lượng hấp phụ là  $\sim 8,3 \text{ mg/g}$ . Một số nghiên cứu cũng đã báo cáo một số chất hấp phụ than sinh học hấp phụ xanh methylen ở cùng giá trị thời gian hấp phụ tối ưu tương tự, bao gồm bã trà [28], bã cà phê [29]. So với các vật liệu than sinh học khác, JA có hiệu quả hấp phụ MB cao hơn so với vật liệu được tổng hợp từ bã mía ( $3,75 \text{ mg/g}$ ) trong cùng thời gian tối ưu là 60 phút [19]. Như vậy, vật liệu JA có ái lực hấp phụ MB tương đối mạnh và nhanh. Do đó,  $pH = 11$  và thời gian 60 phút là điều kiện tối ưu được lựa chọn cho các thí nghiệm tiếp theo.



Hình 3: Ảnh hưởng của pH (a) và thời gian (b) đến khả năng hấp phụ MB của vật liệu JA

### Đẳng nhiệt hấp phụ

Để mô tả các tương tác giữa các phân tử chất hấp phụ và bề mặt chất hấp phụ cũng như sự phân bố giữa các pha lỏng và pha rắn ở trạng thái cân bằng, nhiều mô hình khác nhau với các thông số đẳng nhiệt đã được sử dụng. Kết quả ứng dụng 04 mô hình đẳng nhiệt hấp phụ bao gồm Langmuir, Freundlich, Sips và Dubinin-Radushkevich được trình bày trong Hình 4 và Bảng 1. Quá trình đẳng nhiệt hấp phụ được thực hiện tại điều kiện  $pH = 11$  và nhiệt độ  $T = 306 \text{ K}$ . Qua Hình 4 cho thấy quá trình hấp phụ MB bởi vật liệu JA phụ thuộc vào nồng độ ban đầu. Khả năng hấp phụ JA tăng khi tăng độ dung dịch ban đầu của MB, quá trình hấp phụ đạt bão hòa khi nồng độ ban đầu của dung dịch MB đạt giá trị  $100 \text{ mg/L}$ . Kết quả tương tự đã được công bố bởi một số tác giả khác [30,31]. Theo phân loại của nhóm tác giả Giles, Smith, Huitson [32] xu hướng hấp phụ MB của các đường đẳng nhiệt được thể hiện bằng các đường phi tuyến có hình dạng L (Hình 4).



Hình 4: Đẳng nhiệt hấp phụ MB của vật liệu JA tại  $pH = 11$ ,  $t = 60 \text{ phút}$ ,  $T = 306 \text{ K}$



Bảng 1: Các thông số đẳng nhiệt hấp phụ MB bởi vật liệu than sinh học JA

Mô hình	Đơn vị	Đẳng nhiệt hấp phụ	Mô hình	Đơn vị	Đẳng nhiệt hấp phụ
<b>1. Langmuir model</b>			<b>3. Sips model</b>		
$Q_{max}$	mg/g	39,87	$Q_s$	L/g	3,238
$K_L$	L/mg	0,0208	$\alpha$	L/g	0
$R^2$	—	0,9058	$\beta$	—	0,456
RMSE	—	3,077	$R^2$	—	0,9559
$\chi^2$	—	6,321	RMSE	—	2,105
<b>2. Freundlich model</b>			<b>4. Dubinin-Radushkevich model</b>		
$K_F$	(mg/g)/(mg/L) <sup>n</sup>	3,24	$Q_{D-R}$	mg/g	27,41
$n_F$	—	2,19	$\beta_{D-R}$	mol <sup>2</sup> /J <sup>2</sup>	0,062
$R^2$	—	0,9559	E	kJ/mol	2,85
RMSE	—	2,105	$R^2$	—	0,8204
$\chi^2$	—	2,143	RMSE	—	4,249
			$\chi^2$	—	9,208

Dựa trên các giá trị  $R^2$ , RMSE và  $\chi^2$ , tại Bảng 1, thứ tự phù hợp của các mô hình đẳng nhiệt là Sips = Freundlich > Langmuir > Dubinin-Radushkevich. Như vậy, hai mô hình Sips và Freundlich được xem là phù hợp nhất để mô tả đẳng nhiệt hấp phụ MB lên vật liệu JA. Kết quả này cũng phù hợp với nghiên cứu hấp phụ MB bởi vật liệu từ vỏ bưởi và vỏ thanh long [12,33]. Thêm vào đó, giá trị n được xác định từ mô hình Freundlich là khoảng 2,19. Giá trị n này nằm trong khoảng từ 1 đến 10, xác nhận lại rằng bề mặt của vật liệu này là không đồng nhất. Do đó, quá trình hấp phụ MB có thể diễn ra từ trên bề mặt không đồng nhất của vật liệu JA. Bên cạnh đó, dung lượng hấp phụ cực đại đơn lớp được tính toán theo mô hình Langmuir đối với MB là 39,87 mg/g. Hơn nữa, giá trị năng lượng tự do của quá trình hấp phụ MB được ước tính từ mô hình Dubinin-Radushkevich nhỏ hơn 8 kJ/mol, cho phép dự đoán sự hấp phụ MB trên vật liệu JA ở trạng thái cân bằng là một quá trình vật lý.

## Kết luận

Trong nghiên cứu này, vật liệu than sinh học đã được tổng hợp thành công từ phụ phẩm vỏ mít có diện tích bề mặt khoảng ~13 m<sup>2</sup>/g và có khả năng hấp phụ tốt chất màu MB trong nước. Một số đặc trưng cấu trúc, bề mặt của vật liệu đã được phân tích bằng các phương pháp như XRD, SEM, BET. Đẳng nhiệt của quá trình hấp phụ cũng đã được nghiên cứu cụ thể. Kết quả cho thấy hai mô hình Sips và Freundlich là phù hợp nhất ( $R^2=0,956$ ) để mô tả đẳng nhiệt hấp phụ MB bởi vật liệu JA. Hiệu suất loại bỏ MB với nồng độ dung dịch ban đầu

10 mg/L đạt 96,57%. Quá trình hấp phụ MB đạt giá trị cân bằng nhanh trong 60 phút. Cơ chế hấp phụ MB lên vật liệu JA có thể là lực hút tĩnh điện giữa các vị trí bề mặt tích điện âm trên than sinh học từ vỏ mít và điện tích dương trên các phân tử MB.

Do đó, than hoạt tính từ vỏ mít hứa hẹn sẽ là vật liệu tiềm năng để xử lý các chất phẩm nhuộm trong dung dịch nước, đặc biệt là việc hướng đến xử lý nước thải ở quy mô công nghiệp.

## Tài liệu tham khảo

1. N.T.H.P. Tran Dinh Trinh, VNU Journal of Science: Natural Sciences and Technology 36 (2020). <https://10.25073/2588-1140/vnunst.4939>
2. F.E. Titchou, R.A. Akbour, A. Assabbane, M. Hamdani, Groundwater for Sustainable Development 11 (2020). <https://10.1016/j.gsd.2020.100405>
3. D. Sun, N. Iqbal, W. Liao, Y. Lu, X. He, K. Wang, B. Ma, Y. Zhu, K. Sun, Z. Sun, T. Li, Ceramics International (2022). <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.05.225>
4. E.F.D. Januario, T.B. Vidovix, N.C.L. Beluci, R.M. Paixao, L. Silva, N.C. Homem, R. Bergamasco, A.M.S. Vieira, Sci Total Environ 789 (2021) 147957. <https://10.1016/j.scitotenv.2021.147957>
5. Z. Li, B. Xing, Y. Ding, Y. Li, S. Wang, Chinese Journal of Chemical Engineering 28 (2020) 2872. <https://10.1016/j.cjche.2020.03.031>

6. H. Zhang, Y. Li, B. Cheng, C. Ding, Y. Zhang, *Int J Biol Macromol* 161 (2020) 561. <https://10.1016/j.ijbiomac.2020.06.017>
7. S. Zhi, L. Tian, N. Li, K. Zhang, *J Environ Manage* 213 (2018) 392. <https://10.1016/j.jenvman.2018.02.082>
8. M. Daud, A. Hai, F. Banat, M.B. Wazir, M. Habib, G. Bharath, M.A. Al-Harhi, *Journal of Molecular Liquids* 288 (2019). <https://10.1016/j.molliq.2019.110989>
9. M. Shafiq, A.A. Alazba, M.T. Amin, *Arabian Journal of Geosciences* 12 (2019). <https://10.1007/s12517-018-4186-y>
10. C. Nuanhchamngong, K. Kositkanawuth, N. Wantaneeyakul, *Results in Engineering* 14 (2022). <https://10.1016/j.rineng.2022.100451>
11. D. Congsomjit, C. Areeprasert, *Biomass Conversion and Biorefinery* (2020). <https://10.1007/s13399-020-00635-y>
12. M.A. Ahmad, M.A. Eusoff, K.A. Adegoke, O.S. Bello, *Environmental Technology & Innovation* 24 (2021). <https://10.1016/j.eti.2021.101917>
13. D. Cheng, H.H. Ngo, W. Guo, S.W. Chang, D.D. Nguyen, X. Zhang, S. Varjani, Y. Liu, *Sci Total Environ* 720 (2020) 137662. <https://10.1016/j.scitotenv.2020.137662>
14. R.A.S.N. Ranasinghe, S.D.T. Maduwanthi, R.A.U.J. Marapana, *International Journal of Food Science* 2019 (2019) 4327183. <https://10.1155/2019/4327183>
15. V. Puccia, M.J. Avena, *Colloid and Interface Science Communications* 41 (2021). <https://10.1016/j.colcom.2021.100376>
16. P. Ganguly, R. Sarkhel, P. Das, *Surfaces and Interfaces* 20 (2020). <https://10.1016/j.surfin.2020.100616>
17. A. Poursaeidesfahani, E. Andres-Garcia, M. de Lange, A. Torres-Knoop, M. Rigutto, N. Nair, F. Kapteijn, J. Gascon, D. Dubbeldam, T.J.H. Vlugt, *Microporous and Mesoporous Materials* 277 (2019) 237. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2018.10.037>
18. V.P. Dinh, T.D. Huynh, H.M. Le, V.D. Nguyen, V.A. Dao, N.Q. Hung, L.A. Tuyen, S. Lee, J. Yi, T.D. Nguyen, L.V. Tan, *RSC Adv* 9 (2019) 25847. <https://10.1039/c9ra04296b>
19. V.-P. Dinh, D.-K. Nguyen, T.-T. Luu, Q.-H. Nguyen, L.A. Tuyen, D.D. Phong, H.A.T. Kiet, T.-H. Ho, T.T.P. Nguyen, T.D. Xuan, P.T. Hue, N.T.N. Hue, *Materials Chemistry and Physics* 285 (2022). <https://10.1016/j.matchemphys.2022.126105>
20. Y. Liu, X. Zhao, J. Li, D. Ma, R. Han, *Desalination and Water Treatment* 46 (2012) 115. <https://10.1080/19443994.2012.677408>
21. L.M. Ferreira, R.R. de Melo, A.S. Pimenta, T.K.B. de Azevedo, C.B. de Souza, *Biomass Conversion and Biorefinery* 12 (2020) 1181. <https://10.1007/s13399-020-00660-x>
22. K.V. Kumar, S. Gadipelli, B. Wood, K.A. Ramisetty, A.A. Stewart, C.A. Howard, D.J.L. Brett, F. Rodriguez-Reinoso, *Journal of Materials Chemistry A* 7 (2019) <https://10.1039/c9ta00287a>
23. S.B. Daffalla, H. Mukhtar, M.S. Shaharun, *PLoS One* 15 (2020) e0243540. <https://10.1371/journal.pone.0243540>
24. H.A.T. Banu, P. Karthikeyan, S. Meenakshi, *Bioresource Technology Reports* 8 (2019). <https://10.1016/j.biteb.2019.100331>
25. M.T. Amin, A.A. Alazba, M. Shafiq, *Environ Monit Assess* 191 (2019) 735. <https://10.1007/s10661-019-7915-0>
26. S. Fan, Y. Wang, Z. Wang, J. Tang, J. Tang, X. Li, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 5 (2017) 601. <https://10.1016/j.jece.2016.12.019>
27. K.W. Jung, B.H. Choi, M.J. Hwang, T.U. Jeong, K.H. Ahn, *Bioresour Technol* 219 (2016) 185. <https://10.1016/j.biortech.2016.07.098>
28. Y. Mu, H. Ma, *Chemical Engineering Research and Design* 167 (2021) 129. <https://10.1016/j.cherd.2021.01.008>
29. J.-C. Lee, H.-J. Kim, H.-W. Kim, H. Lim, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 98 (2021) 383. <https://10.1016/j.jiec.2021.03.026>
30. X. Tang, G. Ran, J. Li, Z. Zhang, C. Xiang, *J Hazard Mater* 402 (2021) 123579. <https://10.1016/j.jhazmat.2020.123579>
31. A. Subratti, J.L. Vidal, L.J. Lalgee, F.M. Kerton, N.K. Jalsa, *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 21 (2021). <https://10.1016/j.scp.2021.100421>
32. C.H. Giles, D. Smith, A. Huitson, *Journal of Colloid and Interface Science* 47 (1974) 755. [https://doi.org/10.1016/0021-9797\(74\)90252-5](https://doi.org/10.1016/0021-9797(74)90252-5)
33. M.A. Ahmad, M.A. Eusoff, P.O. Oladoye, K.A. Adegoke, O.S. Bello, *Chemical Data Collections* 32 (2021). <https://10.1016/j.cdc.2021.100676>