



Nghiên cứu khả năng hấp phụ xanh metylen trên vật liệu compozit chitosan – sắt từ oxit Studying adsorption of methylene blue onto chitosan – mangetite composite

Bùi Minh Quý*, Đỗ Thị Oanh, Nguyễn Đình Vinh, Nguyễn Thị Ngọc Linh, Nguyễn Thị Hồng Hoa, Vũ Quang Tùng

*Khoa Hóa học, Trường Đại học Khoa học, Đại học Thái Nguyên
 Phường Tân Thịnh, Thành phố Thái Nguyên, tỉnh Thái Nguyên*

**Email: quybm@tnus.edu.vn*

ARTICLE INFO

Received: 03/5/2021

Accepted: 05/8/2021

Published: 20/8/2021

Keywords:

Methylene blue, Composite,
 Isotherm, kinetic, Adsorption

ABSTRACT

The chitosan/mangetite composite in the mass ratio chitosan:mangetite of 9:1 (CM91) was synthesised by co-precipitation method. The characteristics of the chitosan/mangetite composite was estimated by X-ray diffraction method (XRD) and scanning electron microscopy techniques (SEM). The methylene blue adsorption ability onto CM91 composite was well at value pH 9, equilibrium contact time of 20 minutes. The experimental adsorption data fitted into pseudo–Langmuir adsorption isotherm models. The adsorption followed pseudo-second order kinetic model very well. The maximum adsorption capacity of that composite which caculated by Langmuir equation was 94,18 mg/g.

Giới thiệu chung

Ô nhiễm môi trường, đặc biệt là ô nhiễm môi trường nước bởi các chất màu đang là một vấn đề quốc tế được nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm nghiên cứu. Xanh metylen (CTHH: $C_{16}H_{18}ClN_3S$) (MB) là một chất màu hữu cơ dạng cation. MB được sử dụng rộng rãi trong phòng thí nghiệm, y tế, công nghiệp dệt nhuộm, in ấn, ... MB là chất gây tác động xấu đến hệ thần kinh trung ương, gây buồn nôn, khó thở [1], làm ảnh hưởng đến hệ môi trường sinh thái, ... Do vậy, loại bỏ MB ra khỏi môi trường nước là rất cần thiết.

Có nhiều phương pháp để loại bỏ các chất màu nói chung và MB ra khỏi nguồn nước như phương pháp oxi hóa [2], phương pháp hóa học [3], phương pháp sinh học [4] nhưng phương pháp hấp phụ được nhiều nghiên cứu lựa chọn bởi chi phí xử lý thấp, hiệu quả cao, công nghệ đơn giản [5–9]. Cho đến nay, rất nhiều

các chất hấp phụ đã được sử dụng để loại bỏ MB ra khỏi môi trường nước như CNTs [8], các oxit kim loại [10], vỏ trấu [11], mùn cưa [12], ... Tuy nhiên các chất này có dung lượng hấp phụ thấp, thời gian hấp phụ kéo dài. Do đó cần phải tìm ra một chất hấp phụ có dung lượng hấp phụ cao, thời gian hấp phụ ngắn để loại bỏ MB ra khỏi nguồn nước thải.

Chitosan – sắt từ oxit là vật liệu dạng compozit đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực y sinh [13], điều dẫn thuốc [14], ... Một số nghiên cứu gần đây cho thấy, đây là vật liệu có khả năng hấp phụ các chất ô nhiễm, dễ thu hồi nhờ tính chất siêu thuận từ của Fe_3O_4 , đặc biệt là khả năng tái sử dụng vật liệu hấp phụ [15,16]. Tuy nhiên, ở Việt Nam vấn đề này còn ít được quan tâm nghiên cứu. Do vậy, nghiên cứu này tiến hành tổng hợp vật liệu chitosan – sắt từ oxit với tỉ lệ khối lượng chitosan: Fe_3O_4 là 9:1, tìm hiểu khả năng loại bỏ MB của compozit chitosan – sắt từ oxit ra khỏi môi

trường nước bằng phương pháp hấp phụ. Qua đó nghiên cứu mô hình hấp phụ và động học quá trình hấp phụ MB trên vật liệu composit chitosan : Fe₃O₄. Đồng thời khảo sát khả năng tái sử dụng của vật liệu hấp phụ.

Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

Hóa chất

Hóa chất được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: Chitosan, FeCl₂.4H₂O (>99%), FeCl₃.6H₂O (>99%), HCl, NaOH, axit acetic, nước cất hai lần. Các hóa chất đều đảm bảo độ tinh khiết PA trong phân tích.

Tổng hợp vật liệu chitosan – Fe₃O₄

Vật liệu composit chitosan – Fe₃O₄ được tổng hợp bằng phương pháp đồng kết tủa theo một số nghiên cứu trước đó [17,18] với tỉ lệ khối lượng chitosan : Fe₃O₄ là 9:1 (CM91). Tỉ lệ số mol Fe²⁺:Fe³⁺ là 1:2. Vật liệu được tổng hợp ở nhiệt độ 80 °C tại pH = 13, trong môi trường khí N₂, thời gian tổng hợp 60 phút. Sau khi kết thúc phản ứng, vật liệu được thu bằng nam châm, rửa sạch bằng nước cất đến môi trường trung tính và sấy khô ở nhiệt độ 60 °C trong thời gian từ 2 ÷ 4 giờ.

Vật liệu CM91 sau khi tổng hợp được xác định đặc trưng cấu trúc bằng phương pháp XRD trên máy D2 – Phase (Bruker – Đức) và xác định đặc điểm bề mặt bằng phương pháp ảnh hiển vi điện tử quét SEM trên máy FE-SEM Hitachi S-4800 (Nhật Bản).

Nghiên cứu hấp phụ

Nghiên cứu quá trình hấp phụ xanh metylen thông qua nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố: pH, thời gian hấp phụ, nồng độ ban đầu của MB, lượng chất hấp phụ CM91. Trong mỗi thí nghiệm, các yếu tố nghiên cứu được thay đổi, các yếu tố còn lại sẽ giữ nguyên.

Dung lượng hấp phụ (q, mg/g) và hiệu suất hấp phụ (H, %) được xác định lần lượt theo công thức (1) và (2).

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

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

Trong đó: C₀ và C_t là nồng độ MB ban đầu và sau khi hấp phụ (mg/L); V là thể tích dung dịch bị hấp phụ (L); m là khối lượng chất hấp phụ (g).

Nồng độ MB được xác định bằng phương pháp phổ hấp thụ phân tử UV-Vis trên máy U2900 (Hitachi –

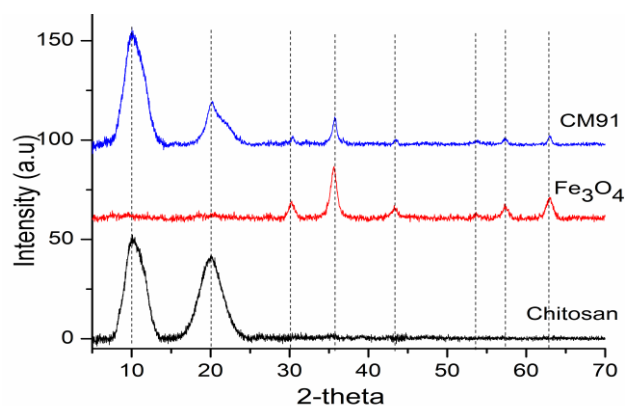
Nhật Bản) tại bước sóng hấp thụ cực đại của MB λ_{max} = 665 nm.

Kết quả và thảo luận

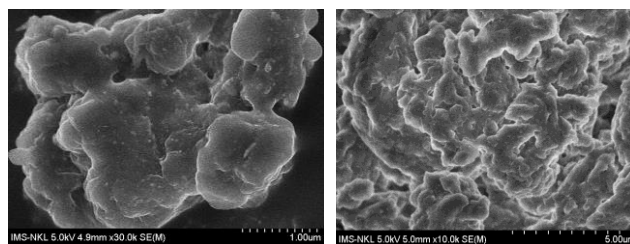
Đặc trưng vật liệu

Kết quả XRD (hình 1) cho thấy, trên giản đồ nhiễu xạ của vật liệu CM91 đã tổng hợp có đầy đủ các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng của Fe₃O₄ tại các vị trí 2-theta bằng 30,37°; 35,72°; 43,48°; 53,77°, 57,02° và 62,96°. Các vị trí này tương ứng với các họ mặt mạng (220), (311), (400), (422), (511) và (440) [16]. Ngoài ra trên giản đồ nhiễu xạ tia X của CM91 còn xuất hiện 2 đỉnh đặc trưng của chitosan tại vị trí 2-theta bằng 10° và 20° [19]. Điều này chứng minh, vật liệu CM91 đã tổng hợp tồn tại ở dạng composit, kết hợp giữa chitosan và Fe₃O₄. Sử dụng phần mềm xác định kích thước tinh thể cho thấy các tinh thể này đều ở kích cỡ nanomet. Trong đó vật liệu Fe₃O₄ và CM91 có kích thước tinh thể lần lượt bằng 13,0 nm và 14,2 nm.

Kết quả nghiên cứu hình thái bề mặt vật liệu trên ảnh SEM (hình 2) cho thấy, vật liệu CM91 có dạng tấm, các tấm xếp lớp lên nhau tạo thành các mảng lớn. Điều này có thể do CM91 có tỉ lệ chitosan lớn nên bề mặt vật liệu chịu ảnh hưởng lớn bởi bề mặt của chitosan – là một loại polyme. Trên bề mặt vật liệu có nhiều lỗ xốp. Đây là điều rất thuận lợi của vật liệu làm vật liệu hấp phụ.



Hình 1: Giản đồ nhiễu xạ tia X của Fe₃O₄, chitosan và CM91



Hình 2: Ảnh SEM của CM91

Nghiên cứu hấp phụ

Ảnh hưởng của pH

Để nghiên cứu ảnh hưởng của pH, tiến hành nghiên cứu hiệu suất hấp phụ MB ở điều kiện nhiệt độ phòng $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, nồng độ ban đầu của MB bằng $90,5\text{ mg/L}$; khối lượng CM91 là $0,10\text{ gam}$, thể tích dung dịch MB là $0,05\text{ L}$. pH dung dịch được thay đổi từ $\text{pH} = 1 \div 11$. Kết quả được thể hiện trong bảng 1 cho thấy, khả năng hấp phụ MB trên vật liệu CM91 ở pH trong môi trường bazơ cao hơn hẳn môi trường axit. Khi $\text{pH} = 7 \div 11$, hiệu suất hấp phụ (H) tăng dần từ $84,05\%$ đến $95,64\%$. Tại môi trường $\text{pH} = 9$ và 11 hiệu suất hấp phụ MB trên vật liệu CM91 khá cao, hơn 90% . Tuy nhiên theo tiêu chuẩn xử lý nước thải [20], để đạt được tiêu chí sử dụng nguồn nước sạch, pH phải đạt từ $6 \div 9$, do vậy lựa chọn $\text{pH} = 9$ cho các nghiên cứu tiếp theo.

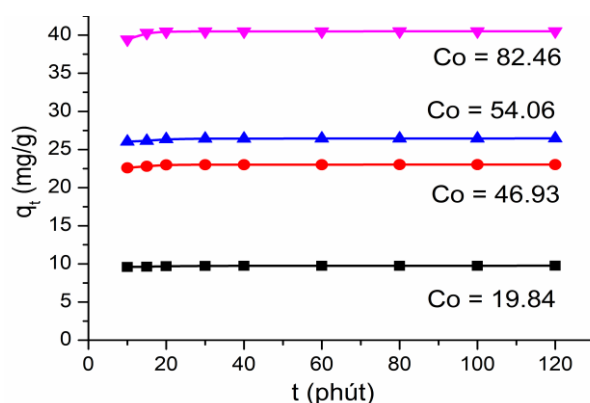
Bảng 1: Hiệu suất hấp phụ MB tại giá trị pH khác nhau

pH	C_{MB} (mg/L)	H (%)
1	82,24	9,13
3	80,00	11,60
5	76,06	15,95
6	23,34	74,20
7	14,44	84,05
8	13,99	84,54
9	4,40	95,14
11	3,95	95,64

Ảnh hưởng của thời gian hấp phụ

Để nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian hấp phụ, tiến hành xác định dung lượng hấp phụ MB ở điều kiện nhiệt độ phòng $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, khối lượng CM91 dùng để hấp phụ là $0,10\text{ gam}$, thể tích dung dịch MB là $0,05\text{ L}$. Thời gian hấp phụ thay đổi từ 10 đến 120 phút. Nồng độ ban đầu của MB thay đổi từ $19,84 \div 82,46\text{ mg/L}$. Kết quả trong hình 3 cho thấy, tại các nồng độ ban đầu của MB khác nhau, ở mỗi thời điểm hấp phụ khác nhau thì dung lượng hấp phụ MB cũng khác nhau. Ngay ở thời điểm hấp phụ ban đầu, dung lượng hấp phụ đã đạt hơn 90% dung lượng hấp phụ tối đa của vật liệu tại điều kiện hấp phụ. Khi thời gian hấp phụ tăng, dung lượng hấp phụ MB cũng tăng. Khi thời gian hấp phụ từ $20 \div 120$ phút, dung lượng hấp phụ MB tăng chậm, đường biểu diễn

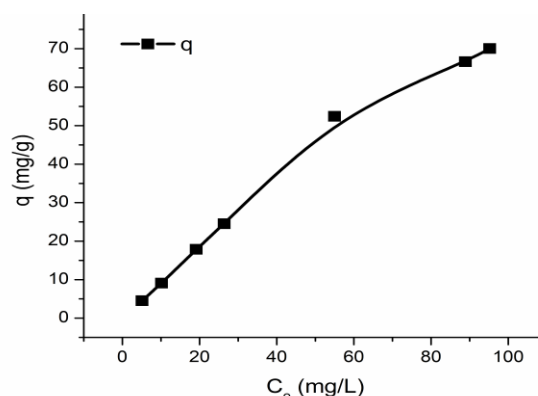
có dạng gần như song song với trục hoành, chứng tỏ sự hấp phụ gần đạt đến cân bằng hấp phụ. Do đó $t = 20$ phút được chọn làm thời gian hấp phụ cân bằng cho các nghiên cứu tiếp theo.



Hình 3: Dung lượng hấp phụ MB theo thời gian tại các nồng độ MB ban đầu khác nhau

Ảnh hưởng của nồng độ MB ban đầu

Nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ ban đầu của MB, nghiên cứu sự phụ thuộc của dung lượng hấp phụ (q) theo nồng độ ban đầu MB ở điều kiện nhiệt độ phòng $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, khối lượng CM91 là $0,10\text{ gam}$, thể tích dung dịch MB $V = 0,05\text{ L}$, thời gian hấp phụ $t = 20$ phút, nồng độ ban đầu của MB thay đổi từ $5 \div 95\text{ mg/L}$. Kết quả trong hình 4 cho thấy, khi nồng độ ban đầu của MB tăng thì dung lượng hấp phụ MB trên CM91 tăng. Điều này có thể được giải thích do sự hấp phụ cạnh tranh của các phân tử MB tăng trên bề mặt vật liệu chất hấp phụ CM91 khi nồng độ MB tăng trong dung dịch.

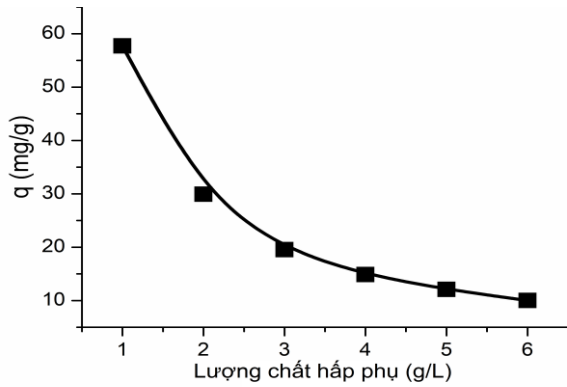


Hình 4: Sự phụ thuộc của dung lượng hấp phụ vào nồng độ ban đầu của MB

Ảnh hưởng của lượng chất hấp phụ CM91

Nghiên cứu ảnh hưởng của lượng chất hấp phụ CM91 thông qua nghiên cứu sự phụ thuộc của dung lượng hấp phụ vào lượng chất hấp phụ ở điều kiện nhiệt độ

phòng T = 20 °C, lượng chất hấp phụ CM91 (g/L) thay đổi từ 1,0 ÷ 6,0 g/L tương đương khối lượng CM91 từ 0,05 ÷ 0,30 g, thời gian hấp phụ t = 20 phút, nồng độ ban đầu của MB là 65,8 mg/L. Kết quả trong hình 5 cho thấy, khi nồng độ ban đầu của MB tăng thì dung lượng hấp phụ MB trên CM91 giảm. Điều này phù hợp với công thức xác định dung lượng hấp phụ (1). Khi khối lượng hấp phụ tăng thì dung lượng hấp phụ tăng.



Hình 5: Sự phụ thuộc của dung lượng hấp phụ vào lượng chất hấp phụ

Nghiên cứu mô hình hấp phụ

Ba mô hình hấp phụ Langmuir, Freundlich và Temkin đã được sử dụng để nghiên cứu mô hình hấp phụ MB trên vật liệu CM91. Mô hình Langmuir thường được sử dụng để mô tả sự hấp phụ đơn lớp trên bề mặt hấp phụ đồng nhất [5–7]. Phương trình Langmuir được mô tả theo phương trình (3).

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

Trong đó C_e và q_e là nồng độ của MB (mg/L) và dung lượng hấp phụ (mg/g) ở thời điểm cân bằng; Q_{max} là dung lượng hấp phụ cực đại (mg/g); K_L là hằng số Langmuir (L/mg). Giá trị R_L xác định theo công thức (4) cho thấy sự phù hợp của mô hình với thực nghiệm nếu R_L nằm trong khoảng từ 0 ÷ 1 [5–7].

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_o} \quad (4)$$

Mô hình Freundlich [5–7]. thường được sử dụng để nghiên cứu sự hấp phụ đa lớp trên các hệ dị thể. Phương trình Freundlich được mô tả bởi phương trình (5)

$$q_e = K_F \exp(C_e^{1/n}) \quad (5)$$

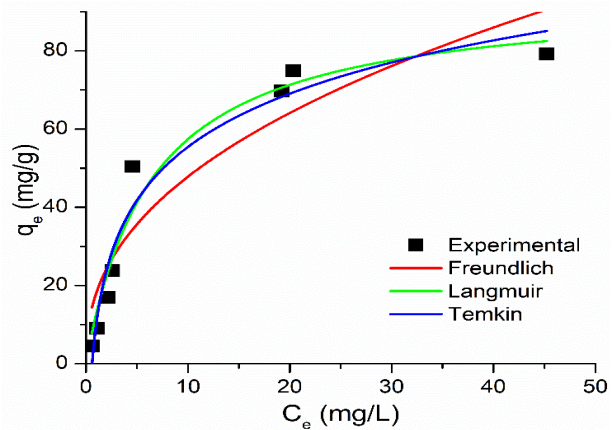
Trong đó n và K_F ($\text{mg}^{1-(1/n)} \cdot \text{L}^{1/n} / \text{g}$) lần lượt là hằng số Freundlich và tham số hấp phụ. Nếu n nằm trong

khoảng 1 ÷ 10 chứng tỏ vật liệu hấp phụ phù hợp với chất bị hấp phụ [5–7].

Mô hình Temkin [5–7] mô tả sự hấp phụ diễn ra trên bề mặt không đồng nhất. Phương trình Temkin được thể hiện bởi phương trình (6)

$$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln(K_T C_e) \quad (6)$$

Trong đó, R (8,314 J/mol.K) là hằng số khí, T (K) là nhiệt độ tuyệt đối; K_T là hằng số Temkin (L/mg); b_T là năng lượng hấp phụ (J/mol).



Hình 6: Đồ thị biểu diễn thực nghiệm và các mô hình hấp phụ

Kết quả trên hình 6 và bảng 2 cho thấy, kết quả thực nghiệm được thể hiện khá tốt theo cả 3 mô hình hấp phụ đẳng nhiệt. Điều này được thể hiện ở giá trị hệ số tương quan R^2 khá lớn ($R^2 = 0,86 \div 0,96$). R^2 đạt giá trị cao nhất theo mô hình Langmuir, với dung lượng hấp phụ cực đại đạt $Q_{max} = 94,18$ mg/g. Kết quả này so với các kết quả đã nghiên cứu trước đó (bảng 3) cho thấy, vật liệu CM91 có khả năng hấp phụ MB tốt hơn một số vật liệu hấp phụ đã được nghiên cứu trước đó.

Bảng 2: Các tham số trong các mô hình hấp phụ

Mô hình	Tham số	Giá trị
Langmuir	Q_{max} (mg/g)	94,18
	K_L (L/mg)	0,16
	R^2	0,96
	R_L	0,06 ÷ 0,55
Freundlich	K_F ($\text{mg}^{1-(1/n)} \cdot \text{L}^{1/n} / \text{g}$)	18,09
	n	2,36
	R^2	0,86
Temkin	K_T (L/mg)	1,68
	b_T (J/mol)	123,97
	R^2	0,95

Kết quả xác định giá trị tham số R_L theo phương trình (4) và giá trị n xác định theo mô hình Freundlich cho

thấy, vật liệu CM91 phù hợp cho sự hấp phụ MB trong nước [5–7,12]. Nhiệt hấp phụ xác định theo mô hình Temkin khá lớn, phù hợp với giả thiết sự hấp phụ MB trên CM91 được tạo bởi lực tương tác tĩnh điện mạnh giữa MB và CM91.

Bảng 3: Dung lượng hấp phụ cực đại MB trên một số vật liệu hấp phụ

Vật liệu hấp phụ	Q _{max} (mg/g)	TLTK
Compozit Bã chè/CuFe ₂ O ₄	32,25	[7]
Mùn cưa hoạt hóa bằng NaOH	0,76	[12]
Bã chè	86,21	[21]
Than hoạt tính từ tinh bột	38,31	[22]
Carbon hoạt tính từ hạt <i>Litsea glutinosa</i>	29,03	[23]
Chitosan- ligin hoạt hóa	36,25	[24]
Fe ₃ O ₄ @SiO ₂	31,44	[25]
CM91	94,18	Trong nghiên cứu này

Nghiên cứu động học hấp phụ

Các mô hình động học hấp phụ giả động học bậc 1, giả động học bậc 2 và mô hình khuếch tán nội phân tử đã được áp dụng để nghiên cứu động học hấp phụ MB trên vật liệu CM91. Các phương trình động học dạng tuyến tính được mô tả lần lượt bởi các phương trình (6), (7) và (8).

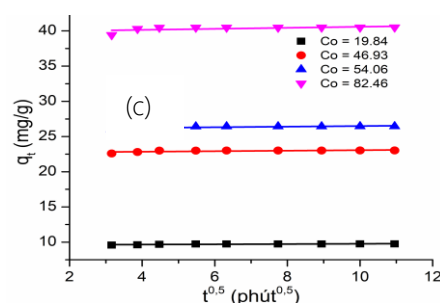
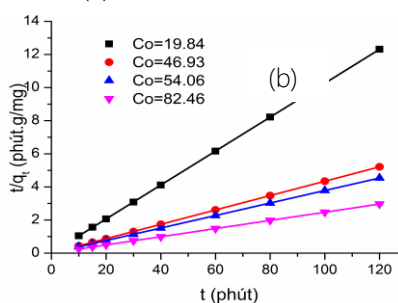
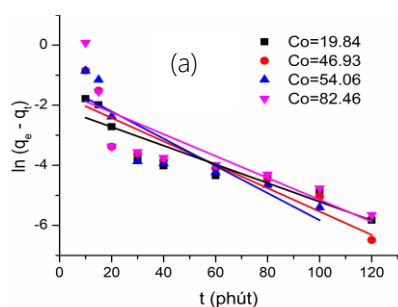
Phương trình giả động học tuyến tính bậc 1 [5–7]. :

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 t \tag{6}$$

trong đó: q_e và q_t là dung lượng hấp phụ tại thời điểm cân bằng và tại thời điểm t (mg/g); k₁ là hằng số tốc độ của mô hình giả động học bậc 1 (1/phút).

Phương trình giả động học bậc 2 dạng tuyến tính [5–7] có dạng:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \tag{7}$$



Hình 7: Mô hình giả động học hấp phụ bậc 1 (a), bậc 2 (b) và mô hình khuếch tán nội phân tử (c)

Trong đó, k₂ là hằng số tốc độ của mô hình giả động học bậc 2 (g/mg.phút).

Phương trình động học khuếch tán nội phân tử [5–7], có dạng:

$$q_e = K_{in} t^{0.5} + C \tag{8}$$

Trong đó: K_{in} là hằng số quá trình khuếch tán nội phân tử (phút^{0.5}), C là hằng số (mg/g) biểu thị dung lượng hấp phụ tại thời điểm t=0.

Kết quả xử lý số liệu thực nghiệm và các tham số trong mô hình động học hấp phụ MB trên CM91 được thể hiện trong hình 7 và bảng 4. Kết quả cho thấy, các giá trị thực nghiệm sự hấp phụ của MB trên vật liệu CM91 đã tuân theo mô hình giả động học bậc 2 rất tốt. Điều này được thể hiện ở hệ số tương quan R² giữa kết quả thực nghiệm và mô hình đều đạt giá trị tối đa, R² = 1 ở tất cả các nồng độ MB ban đầu nghiên cứu; dung lượng hấp phụ tại thời điểm cân bằng xác định theo mô hình rất gần với giá trị xác định theo thực nghiệm. Kết quả cũng cho thấy khi nồng độ ban đầu của MB giảm thì hằng số tốc độ phản ứng tăng, điều này cho thấy, khi nồng độ ban đầu của MB nhỏ thì quá trình hấp phụ MB trên CM91 càng nhanh.

Kết quả nghiên cứu động học hấp phụ này cho phép xác định năng lượng hấp phụ theo công thức (9) [26]. Kết quả xác định E_a = 11,11 ÷ 18,04 kJ/mol khi C₀ = 19,84 ÷ 82,46 mg/L ở 20 °C cho thấy, sự hấp phụ MB trên CM91 là hấp phụ vật lý, trong đó quá trình khuếch tán ngoài đóng vai trò chính [26].

$$E_a = RT [\ln(k_2 q_e^2) - \ln k_2] \tag{9}$$

Trong đó, E_a là năng lượng hấp phụ (J/mol)

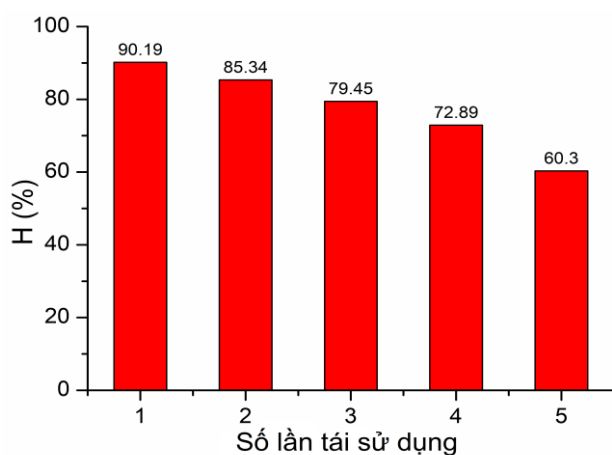
Kết quả phân tích theo mô hình khuếch tán nội phân tử cho thấy, giá trị C của mô hình gần đến giá trị dung lượng hấp phụ cân bằng (q_e), kết quả này phù hợp với kết quả nghiên cứu ở phần Ảnh hưởng của thời gian hấp phụ, dung lượng hấp phụ MB lớn ngay ở thời gian hấp phụ ban đầu. Điều này cũng cho thấy, CM91 là vật liệu hấp phụ MB phù hợp với thời gian hấp phụ ngắn.

Bảng 4: Các tham số của các mô hình động học hấp phụ theo các nồng độ ban đầu khác nhau

C_0 (mg/L)	Mô hình giả động học bậc 1			q_{exp} (mg/g)	Mô hình giả động học bậc 2			Mô hình khuếch tán nội phân tử		
	k_1 (1/min)	q_e (mg/g)	R^2		k_2 (g/mg.phút)	q_e (mg/g)	R^2	K_{in} (phút ^{0,5})	C (mg/g)	R^2
19,84	0,03	0,12	0,83	9,75	0,64	9,76	1	0,02	9,58	0,61
46,93	0,04	0,19	0,79	23,03	0,38	23,05	1	0,04	22,70	0,40
54,06	0,05	0,27	0,76	26,45	0,30	26,60	1	0,04	26,06	0,51
82,46	0,05	0,22	0,66	40,50	0,22	40,55	1	0,07	39,85	0,24

Khả năng tái sử dụng vật liệu hấp phụ

Vật liệu sau khi hấp phụ MB được giải hấp phụ trong dung dịch H_2SO_4 0,1 M và tách ra dễ dàng nhờ sử dụng lực hút của nam châm với CM91. Tiến hành sử dụng vật liệu sau khi giải hấp, kết quả (hình 8) cho thấy, vật liệu CM91 có khả năng tái sử dụng để hấp phụ MB. Sau 5 lần giải hấp phụ và tái sử dụng, khả năng hấp phụ MB vẫn còn khá cao, khả năng loại bỏ MB ra khỏi dung dịch đạt hiệu suất 60,3 %.



Hình 8: Hiệu suất hấp phụ MB sau khi tái sử dụng

Kết luận

Đã tổng hợp thành công vật liệu composit chitosan/sắt từ oxit (CM91) bằng phương pháp đồng kết tủa. Vật liệu phù hợp để hấp phụ xanh metylen ở pH = 9, thời gian hấp phụ 20 phút. Sự hấp phụ của MB trên CM91 tuân theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir với dung lượng hấp phụ cực đại đạt 94,18 mg/g. Quá trình hấp phụ tuân theo mô hình giả động học bậc 2, với giả thiết quá trình hấp phụ giữa MB và vật liệu CM91 là hấp phụ vật lý trong đó quá trình

khuếch tán ngoài đóng vai trò chính. Vật liệu có khả năng tái sử dụng cao sau 5 lần tái sử dụng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Khoa học – Đại học Thái Nguyên trong đề tài mã số CS2020-TN06-13.

Tài liệu tham khảo

1. L. Vutskits et al. Anesthesiology 108 (2008) 684-692. <https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e3181684be4>.
2. S. Ahmadi et al., J. Environ. Chem. Eng 187 (2019) 1-6. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01271-7>.
3. S. N. Malik, P. C. Ghosh, A. N. Vaidya, and S. N. Mudliar, Journal of Water Process Engineering 35 (2020) 101193. <http://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101193>.
4. F. Qian, X. Sun, and Y. Liu. Chem. Eng. J 214 (2013) 112-118. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.09.130>.
5. Z. Movasaghi et al. Ind. Crops Prod. 127 (2018) 237-250. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.051>.
6. H.A. Darwish, M. Rashad. Dyes and Pigments 160 (2018) 1-32. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2018.08.045>.
7. H.S.S.Hashemian, M.K.Ardakani. American Journal of Analytical Chemistry 4(7) (2013) 1-7. <https://dx.doi.org/10.4236/ajac.2013.47A001>.
8. S. A. Nourali Mohammadi, Hadi Khani, Vinod Kumar Gupta, Ehsanollah Amereh. Journal of Colloid and Interface Science, 362(2) (2011) 457-462. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.06.067>.

<https://doi.org/10.51316/jca.2022.009>

9. A. S. A. Ali H. Jawad, Nur Shazwani Abdul Mubarak. *International Journal of Biological Macromolecules* 142 (2020) 732–741.
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomac.2019.10.014>
10. M. A. Vargas, E. M. Rivera, J. E. Dios, E. E. Mosquera, J. E. Rodríguez-Páez. *Ceram. Int.* 47 (2021) 15668–15681.
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.02.137>
11. M.A.Rahman. *Dhaka Univ. J. Sci.* 60(2) (2012) 185–189.
<https://doi.org/10.3329/dujs.v60i2.11491>
12. O.S.Bello, O.M.Adelaide, M.A.Hammed, O.A.M.Popoola. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering* 29(1) (2010) 77-85.
<https://www.researchgate.net/publication/230821820>
13. G.Unsoy, S.Yalcin, R.Khodadust, G.Gunduz, U.Gunduz. *J. Nanoparticle Res* 14(11) 2012.
<https://10.1007/s11051-012-0964-8>.
14. A. Ali and S. Ahmed. *Int. J. Biol. Macromol* 109 (2018) 273–286.
<https://10.1016/j.jbiomac.2017.12.078>.
15. X. Wang, R. Yin, L. Zeng, and M. Zhu. *Environ. Pollut* 253 (2019) 100–110.
<https://10.1016/j.envpol.2019.06.067>.
16. A. Erwin et al. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 845(1) 2020.
<https://10.1088/1757-899X/845/1/012051>.
17. P. H. L. Tran, T.T. D.Tran et all. *Res.*, 35(12) (2012) 2045–2061.
<https://10.1007/s12272-012-1203-7>.
18. A. Muhammad, A. Zul, S. Afrita, and W. M. Ledyastuti. *Environ. Nanotechnology, Monit. Manag.*, (2016).
<https://10.1016/j.enmm.2016.06.001>.
19. H. Y. Huang, Y. T. Shieh, C. M. Shih, and Y. K. Twu. *Carbohydr. Polym.* 81(4) (2010) 906–910.
<https://10.1016/j.carbpol.2010.04.003>.
20. BTNMT. QCVN 40: 2011
21. S.T. Ramesh et all. *Global NEST Journal*, 16(1) (2014) 146-159.
<https://doi.org/10.30955/gnj.001248>
22. F. Z. Benhachem, T. Attar, and F. Bouabdallah. *Chemical Review and Letters* 2(1) (2019) 33–39.
<https://10.22034/CRL.2019.87964>
23. M. U. Dao et al. *Environ. Res.* 198 (2021) 110481.
<https://10.1016/j.envres.2020.110481>.
24. A. B. Albadarin, M. N. Collins, M. Naushad, S. Shirazian, G. Walker, and C. Mangwandi, *Chem. Eng. J.* 307 (2017) 264–272.
<https://10.1016/J.CEJ.2016.08.089>.
25. D. Yimin et al. *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp* 550 (2018) 90–98.
<https://10.1016/J.COLSURFA.2018.04.033>.
26. Y. S. Ho and A. E. Ofomaja. *J. Hazard. Mater* 129(1–3) (2006) 137–142.
<https://10.1016/j.jhazmat.2005.08.020>.