

HẤP PHỤ PHENOL ĐỎ TRÊN ĐÁ ONG BIẾN TÍNH BẰNG CETYL TRIMETHYL AMONIUM BROMIDE

Đến tòa soạn 10-05-2024

Ngô Thị Mai Việt*, Dương Thị Tú Anh

Khoa Hóa học, Trường ĐHSP Thái Nguyên

*Email: vietntm@tnue.edu.vn

SUMMARY

REMOVAL OF PHENOL RED USING CETYL TRIMETHYL AMONIUM BROMIDE MODIFIED LATERITE

This paper studied the removal of phenol red from aqueous solution using cetyl trimethyl ammonium bromide modified laterite (CTAB). The Brunauer - Emmett - Teller (BET) method and the total organic carbon (TOC) measurement method were used for determining the characteristics of laterite before and after modifying by CTAB. The isoelectric point of these materials was also determined. The influence of some factors such as: pH, material mass, contact time, ionic strength, temperature, initial concentration of phenol red was investigated. The adsorption isotherms of phenol red onto the material were in accordance with Langmuir and Freundlich models while the adsorption kinetics were in good agreement with a pseudo-second order model. Adsorption thermodynamic of phenol red onto CTAB modified laterite was an exothermal process.

Keywords: Removal, Laterite, CTAB, phenol red, adsorption isotherms

1. MỞ ĐẦU

Phẩm nhuộm được sử dụng rộng rãi trong xã hội công nghiệp hiện đại [1] và ô nhiễm phẩm nhuộm là một trong những vấn đề về môi trường quan trọng nhất hiện nay. Màu là chất gây ô nhiễm đầu tiên được phát hiện trong nước thải [2,3] của các cơ sở dệt nhuộm. Ở nồng độ rất thấp trong nước, màu của phẩm nhuộm cũng có thể nhìn thấy được [2-4]. Nước thải chứa phẩm nhuộm nói chung, phenol đỏ nói riêng có thể gây độc tính cao cho hệ thủy sinh và con người [5,6]. Dữ liệu về độc tính cho thấy phenol đỏ gây ức chế sự phát triển của tế bào biểu mô thận. Tiếp xúc trực tiếp hoặc gián tiếp với loại

phẩm nhuộm này dẫn đến kích ứng mắt, hệ hô hấp và da. Phẩm nhuộm này gây độc cho sợi cơ và tác dụng gây đột biến của nó cũng được báo cáo [7]. Bởi vậy, rất cần thiết phải xử lý nước thải chứa phẩm nhuộm để bảo vệ các nguồn nước trước sự ô nhiễm của tác nhân này.

Vì phẩm nhuộm là các phân tử hữu cơ khó phân hủy, có khả năng chống lại quá trình phân hủy hiếu khí và ổn định với các tác nhân ánh sáng, nhiệt và oxy hóa [8, 9] nên hiện nay, người ta thường xử lý tác nhân gây ô nhiễm này bằng phương pháp hấp phụ.

Việt Nam là đất nước nhiệt đới với nguồn đá ong rất dồi dào. Do có chứa các oxit

kim loại nên đá ong có khả năng hấp phụ. Tuy vậy, do tỉ trọng điện tích nhỏ nên đá ong tự nhiên hấp phụ các chất tồn tại dưới dạng các phân tử mang điện với hiệu suất rất thấp. Vì vậy việc biến tính bề mặt đá ong nhằm nâng cao tỉ trọng điện tích của loại vật liệu này là cần thiết. Bề mặt đá ong đã được biến tính bằng nhiều tác nhân khác nhau và ứng dụng để loại bỏ các chất gây ô nhiễm trong môi trường nước [10-13]. Trong nghiên cứu này, chúng tôi biến tính đá ong tự nhiên bằng chất hoạt động bề mặt có bản chất cation là CTAB để hấp phụ phẩm nhuộm phenol đỏ - một loại phẩm nhuộm tồn tại dưới dạng các anion trong môi trường nước.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Hóa chất và thiết bị

1.1.1. Hóa chất

- Phenol đỏ > 99 % (Trung Quốc); CTAB 100 % (chất chuẩn, TCI, Nhật Bản)
- Axit HCl 37 %; NaOH $\geq$ 96 %; NaCl $\geq$ 95 % được cung cấp bởi hãng Merck, Đức.

1.1.2. Thiết bị

Máy UV 1700 (Shimadzu, Nhật Bản); cân điện tử 4 số Presisa XT 120A (Thụy Sĩ); máy đo pH 2 số Presisa 900 (Thụy Sĩ); tủ sấy Jeitech (Hàn Quốc); máy lắc H4Y và máy li tâm 80-2 (Trung Quốc),

2.2. Biến tính đá ong bằng CTAB

Đá ong biến tính bằng CTAB được tiến hành như sau: Cân m gam đá ong (đã được chuẩn bị theo tài liệu [10]) cho vào bình tam giác chứa V mL hỗn hợp dung dịch gồm CTAB 1000 mg/L và KCl 10 mM với tỉ lệ m : V là 1 : 20. Điều chỉnh pH của hỗn hợp về 10 bằng dung dịch NaOH 1,0 M. Hỗn hợp được lắc trên máy lắc trong 180 phút, để lắng, lọc và tách pha. Tiến hành rửa pha rắn bằng nước cất 02 lần đến pH 7. Cuối cùng, sấy pha rắn ở 70 °C đến khối lượng không đổi, thu được vật liệu đá ong biến tính bằng CTAB.

2.3. Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ

Quá trình hấp phụ phenol đỏ trên vật liệu chịu ảnh hưởng của một số yếu tố: pH dung dịch, lực ion, khối lượng vật liệu, thời gian, nhiệt độ, nồng độ phenol đỏ ban đầu. Do vậy, các thí nghiệm dưới đây sẽ khảo sát sự ảnh hưởng của các yếu tố trên đến sự hấp phụ phenol đỏ trên vật liệu. Các thí nghiệm đều được tiến hành 3 lần trong cùng điều kiện để đảm bảo tính lặp của quá trình thực nghiệm.

Ảnh hưởng của pH (thí nghiệm 1): Lần lượt lấy 50,0 mL dung dịch phenol đỏ có nồng độ 24,84 mg/L cho vào các bình tam giác 100 mL có chứa 0,15 g vật liệu; dùng dung dịch HCl 0,1 M và NaOH 0,1 M để điều chỉnh pH của các dung dịch chất màu thay đổi từ 3,0 đến 9,0. Các dung dịch được lắc trên máy lắc trong 180 phút, với tốc độ 250 vòng/phút, ở nhiệt độ phòng (30 ± 2 °C).

Ảnh hưởng của khối lượng vật liệu: Quá trình khảo sát ảnh hưởng của khối lượng đến sự hấp phụ chất màu của vật liệu được tiến hành tương tự thí nghiệm 1 với nồng độ của phenol đỏ là 25,11 mg/L ở pH đã tối ưu và thay đổi khối lượng vật liệu từ 0,15 g đến 0,30 g.

Ảnh hưởng của thời gian tiếp xúc pha: Quá trình khảo sát ảnh hưởng của thời gian tiếp xúc pha đến sự hấp phụ chất màu của vật liệu được tiến hành tương tự thí nghiệm 1 với nồng độ của phenol đỏ là 24,98 mg/L ở pH và khối lượng vật liệu đã tối ưu; các mốc thời gian tiếp xúc pha lần lượt là: 5, 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180 và 210 phút.

Ảnh hưởng của lực ion: Quá trình khảo sát ảnh hưởng của lực ion đến sự hấp phụ chất màu của vật liệu được tiến hành tương tự thí nghiệm 1 với nồng độ của phenol đỏ là 24,98 mg/L trong nền dung dịch KCl có nồng độ thay đổi lần lượt từ 0

mM đến 100 mM ở pH, khối lượng vật liệu và thời gian tiếp xúc pha đã tối ưu.

Ảnh hưởng của nhiệt độ: Quá trình khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ đến sự hấp phụ chất màu của vật liệu được tiến hành tương tự *thí nghiệm 1* với nồng độ của phenol đỏ là 24,25 mg/L trong nền dung dịch KCl 5 mM ở pH, khối lượng vật liệu và thời gian tiếp xúc pha đã tối ưu; nhiệt độ khảo sát từ 30 °C đến 70 °C.

Ảnh hưởng của nồng độ phenol đỏ:

Với nền là dung dịch KCl 5 mM:

Quá trình khảo sát ảnh hưởng của nồng độ phenol đỏ trong nền dung dịch KCl 5 mM đến sự hấp phụ phenol đỏ của vật liệu được tiến hành tương tự *thí nghiệm 1* với nồng độ của phenol đỏ lần lượt là: 24,70; 49,41; 74,11; 98,82; 148,22; 197,63; và 247,04 mg/L trong nền dung dịch KCl 5 mM ở pH, khối lượng vật liệu, thời gian tiếp xúc pha và nhiệt độ đã tối ưu.

Với nền là dung dịch KCl 50 mM: Quá trình khảo sát ảnh hưởng của nồng độ phenol đỏ trong nền dung dịch KCl 50 mM đến sự hấp phụ phenol đỏ của vật liệu được tiến hành tương tự *thí nghiệm 1* với nồng độ của phenol đỏ lần lượt là: 24,80; 49,61; 74,41; 99,21; 148,82; 198,43 và 248,03 mg/L trong nền dung dịch KCl 50 mM ở pH, khối lượng vật liệu, thời gian tiếp xúc pha và nhiệt độ đã tối ưu.

Với nền là dung dịch KCl 100 mM: Quá trình khảo sát ảnh hưởng của nồng độ phenol đỏ trong nền dung dịch KCl 100 mM đến sự hấp phụ phenol đỏ của vật liệu được tiến hành tương tự *thí nghiệm 1* với nồng độ của phenol đỏ lần lượt là: 24,98; 49,95; 74,93; 99,90; 149,85; 199,80 và 249,75 mg/L ở pH, khối lượng vật liệu, thời gian tiếp xúc pha và nhiệt độ đã tối ưu.

Công thức (1) biểu diễn phương trình tính dung lượng hấp phụ phenol đỏ:

$$q = \frac{(C_0 - C_{cb})}{m} \cdot V \quad (1)$$

Ở đây: C_0 và C_{cb} lần lượt là nồng độ ban đầu của dung dịch phenol đỏ trước và sau khi hấp phụ (mg/L), q là dung lượng hấp phụ (mg/g), m là khối lượng vật liệu (g); V là thể tích dung dịch phenol đỏ (L).

Hiệu suất hấp phụ phenol đỏ được tính theo công thức:

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

Trong đó: C_0 và C_{cb} lần lượt là nồng độ ban đầu của dung dịch phenol đỏ trước và sau khi hấp phụ (mg/L), H là hiệu suất hấp phụ (%).

Nồng độ của phenol đỏ được xác định bằng phép đo quang phổ hấp thụ phân tử.

2.4. Nghiên cứu mô hình đẳng nhiệt hấp phụ

Từ kết quả khảo sát sự ảnh hưởng của nồng độ đầu của phẩm màu đến dung lượng hấp phụ phẩm màu, xử lý số liệu theo mô hình đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich để nghiên cứu mô hình đẳng nhiệt hấp phụ phenol đỏ trên vật liệu.

2.5. Nghiên cứu động học hấp phụ

Từ kết quả khảo sát sự ảnh hưởng của thời gian tiếp xúc pha đến dung lượng hấp phụ phenol đỏ ở các nồng độ 25 mg/L, 50 mg/L và 75 mg/L, tiến hành xử lý số liệu theo mô hình động học hấp phụ bậc 1 và bậc 2 để đánh giá động học hấp phụ phenol đỏ trên vật liệu.

2.6. Nghiên cứu nhiệt động lực học hấp phụ

Từ kết quả nghiên cứu sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến dung lượng hấp phụ phenol đỏ, xử lý số liệu theo phương trình Van't Hoff để tìm các thông số nhiệt động lực học hấp phụ.

$$\ln K_D = -\frac{\Delta G^0}{RT} = -\frac{\Delta H^0}{RT} + \frac{\Delta S^0}{R} \quad (3)$$

Với: K_D là hằng số cân bằng được tính bằng tỉ số giữa nồng độ của dung dịch phenol đồ cân bằng và dung lượng hấp phụ; R là hằng số khí; T là nhiệt độ (K); ΔG^0 là biến thiên năng lượng tự do Gibbs (kJ.mol^{-1}); ΔS^0 là biến thiên entropy ($\text{kJ.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$); ΔH^0 là biến thiên enthalpy (kJ.mol^{-1}).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Một số đặc trưng hóa lý của vật liệu

Hình 1 trình bày kết quả phân tích một số đặc trưng hóa lý của vật liệu.

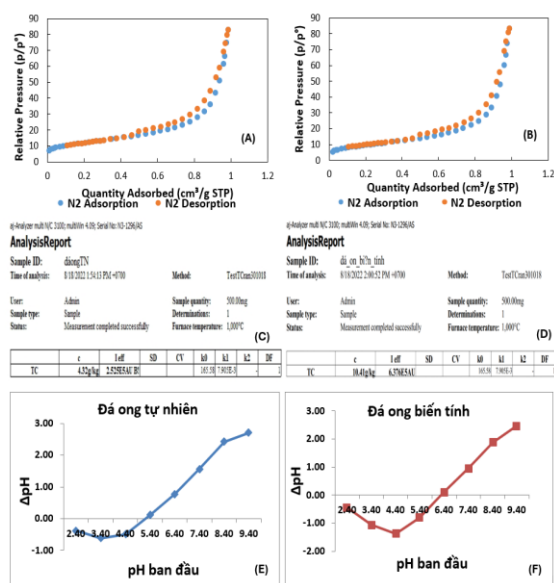
Diện tích bề mặt riêng; tổng lượng carbon hữu cơ và điểm đẳng điện của đá ong tự nhiên và đá ong biến tính được xác định lần lượt là: $41,51 \text{ m}^2/\text{g}$ và $33,75 \text{ m}^2/\text{g}$; $4,32 \text{ g/kg}$ và $10,41 \text{ g/kg}$; $5,2$ và $6,3$. Các kết quả này chứng tỏ các phân tử chất hoạt động bề mặt CTAB đã được hấp phụ lên bề mặt của đá ong tự nhiên, làm giảm diện tích bề mặt riêng đồng thời làm tăng điểm đẳng điện và tăng tổng lượng carbon hữu cơ của vật liệu. Nói một cách khác là, quá trình biến tính đá ong tự nhiên bằng CTAB đã thành công.

3.2. Sự ảnh hưởng của các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ phenol đỏ

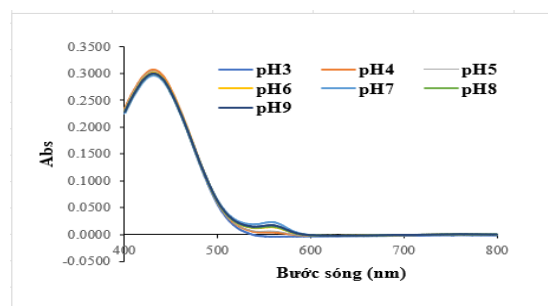
Hình 2 và 3 trình bày quả nghiên cứu sự ảnh hưởng của các yếu tố: pH dung dịch, khối lượng vật liệu, thời gian, lực ion và nhiệt độ đến khả năng hấp phụ phenol đỏ của vật liệu.

Kết quả trong hình 2 cho thấy, độ hấp thụ quang của dung dịch phenol đỏ sau hấp phụ ở các giá trị pH khác nhau hầu như không thay đổi, chứng tỏ pH của dung dịch ảnh hưởng không nhiều đến khả năng hấp phụ phenol đỏ của vật liệu. Có thể giải thích kết quả này là do phenol đỏ có thể tồn tại ở các dạng anion khác nhau trong khoảng pH khảo sát (HPS^- và PS^{2-}) nên hiệu suất và dung lượng hấp phụ các

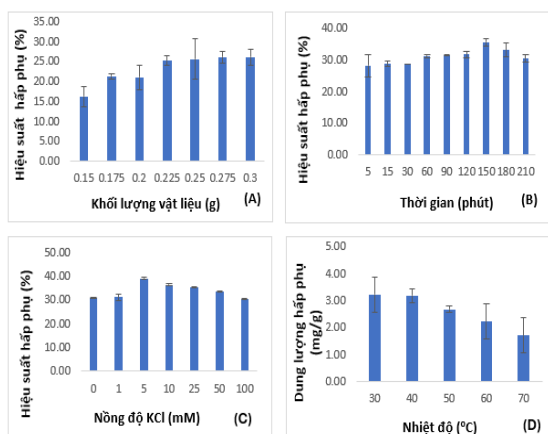
anion phẩm màu lên bề mặt của đá ong đã được bao phủ bởi các cation CTAB là tương đương nhau. Sự ảnh hưởng của pH đến hiệu suất hấp phụ phenol đỏ trên đá ong biến tính bằng CTAB cũng tương tự sự ảnh hưởng của pH đến khả năng hấp phụ phenol đỏ trên bentonite biến tính bằng CTAB [14]. Từ kết quả nghiên cứu và để thuận lợi trong quá trình làm thực nghiệm, pH ban đầu của dung dịch phenol đỏ (có giá trị xấp xỉ $6,0$ ở nồng độ $25,0 \text{ mg/L}$) được sử dụng trong các thí nghiệm tiếp theo



Hình 1. Một số đặc trưng hóa lý của vật liệu (Đường cong hấp phụ và giải hấp phụ N_2 của đá ong trước (A) và sau biến tính (B). Tổng carbon hữu cơ của đá ong trước (C) và sau biến tính (D). Điểm đẳng điện của đá ong trước (E) và sau biến tính (F))



Hình 2. Sự ảnh hưởng của pH đến độ hấp thụ quang của dung dịch phenol đỏ



Hình 3. Sự ảnh hưởng của khối lượng vật liệu (A), thời gian (B), lực ion (C) và nhiệt độ (D) đến khả năng hấp phụ phenol đỏ

Kết quả ở hình 3 chỉ ra rằng, khi khối lượng tăng từ 0,15 g đến 0,25 g thì hiệu suất hấp phụ phenol đỏ tăng dần và hầu như không đổi ở các khối lượng cao hơn. Khi tăng thời gian tiếp xúc giữa vật liệu và dung dịch chất màu thì hiệu suất hấp phụ đạt cao nhất ở 150 phút với lực ion là 5 mM KCl và ở nhiệt độ phòng (30 ± 2 °C). Như vậy, pH ban đầu của dung dịch phenol đỏ; khối lượng vật liệu 0,25 gam; thời gian tiếp xúc pha 150 phút; lực ion 5 mM KCl và nhiệt độ phòng là thông số tối ưu cho quá trình hấp phụ phenol đỏ trên vật liệu.

3.3. Mô hình đẳng nhiệt hấp phụ

Bảng 1, hình 4 và bảng 2 trình bày kết quả nghiên cứu sự ảnh hưởng của nồng độ đầu đến dung lượng hấp phụ phenol đỏ ở các lực ion 5 mM KCl, 50 mM KCl, 100 mM KCl và các mô hình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir, Freundlich.

Kết quả ở bảng 2 chỉ ra rằng, sự hấp phụ phenol đỏ trên đá ong biến tính bằng CTAB phù hợp với mô hình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir và Freundlich. Dung lượng hấp phụ phenol đỏ đạt cực đại theo mô hình Langmuir lần lượt là 8,95 mg/g; 6,96 mg/g và 5,70 mg/g ở các nồng độ muối KCl tương ứng là 5 mM, 50 mM và

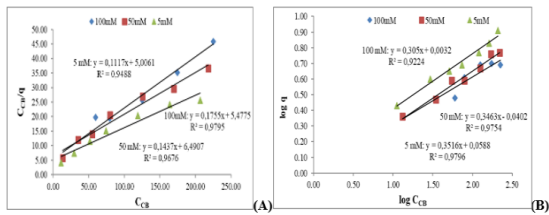
100 mM. Giá trị $1/n$ trong mô hình Freundlich đều nhỏ hơn 0,5, cho thấy sự hấp phụ phenol đỏ trên vật liệu xảy ra thuận lợi [7].

3.4. Động học hấp phụ

Xử lý số liệu nghiên cứu sự ảnh hưởng của thời gian tiếp xúc pha đến dung lượng và hiệu suất hấp phụ phenol đỏ của vật liệu ở 3 nồng độ 25 mg/L, 50 mg/L và 75 mg/L theo mô hình động học hấp phụ bậc 1 và bậc 2, chúng tôi thu được các kết quả trong hình 5 và bảng 3.

Bảng 1. Ảnh hưởng của nồng độ đầu đến khả năng hấp phụ phenol đỏ của vật liệu

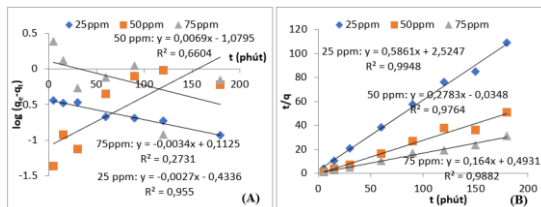
C_0 (mg/L)	$C_{cb\ TB}$ (mg/L)	q_{TB} (mg/g)	C_{cb}/q (g/L)	SD
Lực ion 5 mM KCl				
24,70	11,12	2,72	4,09	0,64
49,41	29,46	3,99	7,38	0,38
74,11	51,64	4,49	11,50	1,61
98,82	74,34	4,89	15,20	0,58
148,22	119,09	5,83	20,43	1,65
197,63	163,71	6,78	24,15	0,54
247,04	206,65	8,08	25,58	0,49
Lực ion 50 mM KCl				
24,80	13,27	2,31	5,74	1,77
49,61	34,99	2,92	11,98	0,43
74,41	54,76	3,93	13,93	0,71
99,21	79,86	3,87	20,64	0,94
148,82	125,51	4,66	26,93	0,14
198,43	169,77	5,73	29,63	0,95
248,03	218,25	5,95	36,68	0,52
Lực ion 100 mM KCl				
24,98	13,47	2,30	5,86	3,50
49,95	35,07	2,98	11,77	1,30
74,93	59,79	3,03	19,73	1,88
99,90	79,44	4,09	19,42	0,51
149,85	125,42	4,88	25,70	1,27
199,80	174,93	4,97	35,20	0,54
249,75	225,18	4,91	45,86	0,39



Hình 4. Mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir (A) và Freundlich (B)

Bảng 2. Các thông số hấp phụ theo các mô hình đẳng nhiệt

Thông số	Mô hình Langmuir			Mô hình Freundlich		
	$q_{\max}$ (mg/g)	R^2	b (L/g)	1/n	R^2	k
$C_{M\text{ KCl}}$						
5 mM	8,95	0,948	0,02	0,35	0,979	1,04
50 mM	6,96	0,967	0,02	0,34	0,975	1,03
100 mM	5,70	0,979	0,03	0,30	0,922	1,00



Hình 5. Mô hình động học hấp phụ bậc 1 và bậc 2

Bảng 3. Các thông số động học hấp phụ

Mô hình động học bậc 1				
Nồng độ đầu (mg/L)	R_1^2	k_1 (phút ⁻¹)	$q_{e,exp}$ (mg/g)	$q_{e,cal}$ (mg/g)
25	0,955	0,006	1,77	0,33
50	0,660	0,016	4,13	0,08
75	0,273	0,008	6,43	1,29
Mô hình động học bậc 2				
Nồng độ đầu (mg/L)	R_2^2	k_2 (g/mg.phút)	$q_{e,exp}$ (mg/g)	$q_{e,cal}$ (mg/g)
25	0,994	0,136	1,77	1,71
50	0,976	2,226	4,13	3,59
75	0,998	0,005	6,43	6,09

Kết quả trong bảng 3 cho thấy, hệ số giá trị tương quan R^2 trong phương trình động học bậc 1 có giá trị khác xa so với 1, đặc biệt là ở nồng độ phenol đỏ 75 mg/L ($R^2 = 0,2731$). Mặt khác, dung lượng hấp phụ phenol đỏ tính theo mô hình động học bậc 1 ở ba nồng độ 25, 50 và 75 mg/L lần lượt là 0,336; 0,083 và 1,295 mg/g khác xa so với giá trị thu được từ thực nghiệm (lần lượt 1,77; 4,13 và 6,43 mg/g). Trong khi đó, đối với phương trình động học bậc 2, hệ số tương quan R^2 khá gần 1 ($R^2 \geq 0,9764$). Hơn nữa, dung lượng hấp phụ phenol đỏ tính theo mô hình động học bậc 2 lần lượt là 1,71; 3,59 và 6,09 mg/g ở các nồng độ 25, 50 và 75 mg/L xấp xỉ các giá trị thu được từ thực nghiệm. Kết quả này chứng tỏ rằng, sự hấp phụ phenol đỏ trên đá ong biến tính bằng CTAB phù hợp phương trình động học bậc 2, tương tự quá trình hấp phụ chất màu này trên bentonite biến tính bằng CTAB [14].

3.5. Nhiệt động lực học hấp phụ

Bảng 4 biểu diễn kết quả nghiên cứu nhiệt động lực học hấp phụ phenol đỏ trên vật liệu.

Bảng 4. Các thông số nhiệt động lực học hấp phụ

1/T (K ⁻¹)	K_D	$\ln K_D$	ΔG° (kJ/mol)	ΔH° (kJ/mol)	ΔS° (kJ/mol.K)
0,0033	0,40	-0,92	0,002	-29,21	-0,001
0,0032	0,38	-0,97	0,002		
0,0031	0,25	-1,40	0,003		
0,0030	0,17	-1,78	0,004		
0,0029	0,11	-2,22	0,006		

Kết quả cho thấy, giá trị biến thiên enthalpy (ΔH°) và biến thiên entropy (ΔS°) lần lượt là -29,21 kJ/mol và -0,001 kJ/mol.K. Ở tất cả các nhiệt độ, biến thiên năng lượng tự do (ΔG°) đều mang giá trị dương. Các thông số về nhiệt động lực học chứng tỏ rằng, quá trình hấp phụ

phenol đỏ trên đá ong biến tính bằng CTAB là quá trình không tự xảy ra, tỏa nhiệt với entropy giảm.

4. KẾT LUẬN

Các kết quả nghiên cứu vật liệu bằng phương pháp đo diện tích bề mặt riêng, tổng carbon hữu cơ và điểm đẳng điện đã chứng minh rằng quá trình biến tính đá ong bằng chất hoạt động bề mặt có bản chất cation CTAB đã thành công. Giá trị pH ban đầu của dung dịch phenol đỏ, khối lượng vật liệu 0,25 gam; thời gian tiếp xúc pha 150 phút; lực ion 5 mM KCl và nhiệt độ phòng (30 ± 2 °C) là các thông số tối ưu cho quá trình hấp phụ phenol đỏ trên vật liệu. Sự hấp phụ phenol đỏ trên vật liệu tuân theo mô hình đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich. Dung lượng hấp phụ phenol đỏ đạt cao nhất theo mô hình Langmuir là 8,95 mg/g ở nồng độ muối KCl 5 mM. Quá trình hấp phụ phenol đỏ trên vật liệu tuân theo mô hình động học bậc 2 và là quá trình tỏa nhiệt.

Cam kết: Tôi xin cam đoan đây là công trình của chúng tôi và chưa gửi đăng nội dung này ở bất kỳ tạp chí nào.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Ho, Y., Chiang, T. and Hsueh, Y., (2005). Removal of Basic Dye From Aqueous Solution Using Tree Fern As A Biosorbent. *Process Biochemistry*, **40**, 119-124.

[2] Crini, G., (2006). Non-Conventional Low Cost Adsorbents for Dye Removal: A Review, *Bioresource Technology*, **97**, 1061-1085.

[3] Banat, I.M., Nigan P., Singh D. and Marchant, R., (1996). Microbial Decolorization of Textile Dye Containing of Effluents: a review. *Bioresource Technology*, **58(3)**, 217-227.

[4] Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R. and Nigam, P., (2001). Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a

proposed alternative. *Bioresour.Technol*, **77**, 247-255.

[5] Vimonses, V., Lei, S., Bo, J., Chow, C.W.K. and Saint, C., (2009). Kinetic study and equilibrium isotherm analysis of Congo Red adsorption by clay materials. *Chemical Engineering Journal*, **148**, 354-364.

[6] Nigam, P., Armour, G., Banat, I.M., Singh, D. and Marchant, R., (2000). Physical removal of textile dyes and solid-state fermentation of dye absorbed agricultural residues. *Bioresour. Technol*, **72**, 219-226.

[7] Zhu., Bu-Yao, Gu., Tiren, (1991). Surfactant adsorption at solid-liquid interfaces. *Advances in Colloid and Interface Science*, **37(1-2)**, 1-32.

[8] Sun, Q. and Yang, L., (2003). The adsorption of basic dyes from aqueous solution on modified peat-resin particle. *Water Res.* **37**, 1535-1544.

[9] Ravi Kumar, M.N.V., Sridhari, T.R., Bhavani, K.D. and Dutta, P.K., (1998). Trends in color removal from textile mill effluents. *Colorage*, **40**, 25-34.

[10] Tien Duc Pham, Thu Thao Pham, Minh Nguyet Phan, Thi Mai Viet Ngo, Van Doan Dang, Cuong Manh Vu, (2020). Adsorption characteristics of anionic surfactant onto laterite soil with differently charged surfaces and application for cationic dye removal. *Journal of Molecular Liquids*, **301**, 1-9.

[11] Thi Mai Viet Ngo, Thi Hoa Truong, Thi Hien Lan Nguyen, Thi Tu Anh Duong, Thi Hau Vu, Thi Thu Trang Nguyen, Tien Duc Pham, (2020). Surface Modified Laterite Soil with an Anionic Surfactant for the Removal of a Cationic Dye (Crystal Violet) from an Aqueous Solution. *Water Air Soil Pollution* **231:285**, 1-15.

[12] Thi Mai Viet Ngo, Thi Hien Lan Nguyen, Xuan Truong Mai, Thi Hong Nguyet Pham, Thi Thu Trang Nguyen, Tien Duc Pham, (2021). Adsorptive removal of cationic dyes using hybrid material-based polyelectrolyte modified laterite soil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **9**, 1-15.

[13] Thi Mai Viet Ngo, Thi Tu Anh Duong, Thi Hien Lan Nguyen, Thi To Loan Nguyen, Thi Thuy Trang Truong, Tien Duc Pham, (2024). Adsorption characteristics and mechanisms of ciprofloxacin on polyanion-modified laterite material. *Colloid and Polymer Science*, **2024**, 1-13.

[14] Nguyen Le My Linh, Tran Duong, Hoang Van Duc, Nguyen Thi Anh Thu, Pham Khac Lieu, Nguyen Van Hung, Le Thi Hoa, Dinh Quang Khieu, (2020). Phenol Red Adsorption from Aqueous Solution on the Modified Bentonite. *Journal of Chemistry*, **2020**, 1-14.