

NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH HẤP PHỤ CHẤT MÀU CONGO ĐỎ TRONG DUNG DỊCH NƯỚC BẰNG VẬT LIỆU NANOCOMPOSITE ZnO/CHITOSAN

RESEARCH ON THE ADSORPTION OF CONGO RED DYE IN AQUEOUS SOLUTION USING NANO-SIZED ZnO/CHITOSAN COMPOSITE MATERIAL

Nguyễn Ngọc Thịnh^{1,*}, Nguyễn Văn Anh²

DOI: <http://doi.org/10.57001/huic5804.2025.203>

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng phương pháp đồng kết tủa để tổng hợp vật liệu composite ZnO/Chitosan (ZC-5) kích thước nano. Các đặc trưng cấu trúc, kích thước tinh thể, hình thái và kích thước hạt của vật liệu đã được xác định. Ảnh chụp bằng kính hiển vi điện tử quét phát xạ trường (FE-SEM), hiển vi điện tử truyền qua (TEM) và phân tích XRD (nhiễu xạ tia X) cho thấy phương pháp được sử dụng đã dẫn đến việc chế tạo vật composite ZnO/Chitosan (ZC-5) kích thước nano có độ tinh khiết cao với kích thước từ 20 - 40nm. Vật liệu ZC-5 đã được sử dụng để hấp phụ xử lý chất màu congo đỏ. Kết quả là thời gian hấp phụ đạt tới cân bằng sau 50 - 60 phút, kết quả hấp phụ phù hợp với phương trình động học biểu kiến bậc 2 và phù hợp với mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir với dung lượng hấp phụ cực đại đạt được là 223,71mg/g.

Từ khóa: ZnO/chitosan (ZnO/CS), hấp phụ, nano composite, congo đỏ.

ABSTRACT

In this study, we used the co-precipitation method to synthesize nano-sized ZnO/Chitosan (ZC-5) composite materials. The structural characteristics, crystal size, morphology and particle size were determined. Field emission scanning electron microscopy (FE-SEM), transmission electron microscopy (TEM) and XRD (X-ray diffraction) analysis showed that the method used led to the fabrication of high-purity nano-sized ZnO/Chitosan composite materials with sizes ranging from 20 - 40nm. The synthesized materials were used as adsorbents to treat Congo red dye in aqueous solutions. As a result, the adsorption time reached equilibrium after 50 - 60 min, the adsorption results followed the pseudo-second-order kinetic equation and were consistent with the Langmuir isotherm model. with a maximum adsorption capacity of 223.71mg/g.

Keywords: ZnO/chitosan (ZnO/CS), adsorption, nanocomposite, congo red.

¹Trường Hóa và Khoa học sự sống, Đại học Bách khoa Hà Nội

²Khoa Kỹ thuật và Môi trường, Trường Đại học Thủ đô Hà Nội

*Email: thinh.nguyennhoc@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 19/02/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 16/5/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/5/2025

1. GIỚI THIỆU

Ô nhiễm môi trường nước do các hợp chất hữu cơ, đặc biệt là các chất màu tổng hợp từ ngành công nghiệp dệt nhuộm, giấy, in ấn và chế biến thực phẩm, đang trở thành vấn đề nghiêm trọng trên toàn cầu. Các hợp chất màu hữu cơ như methylene blue, rhodamine B và các thuốc

nhuộm azo có cấu trúc phân tử bền vững, khả năng phân hủy sinh học thấp và tiềm năng gây độc cao, làm ảnh hưởng nghiêm trọng đến hệ sinh thái thủy sinh và sức khỏe con người [1, 2]. Những chất này có thể làm giảm sự thâm nhập của ánh sáng vào môi trường nước, cản trở quá trình quang hợp của sinh vật, đồng thời một số thuốc

nhuộm còn có khả năng phân hủy tạo ra các sản phẩm có tính đột biến hoặc gây ung thư [2, 3]. Do đó, việc tìm kiếm các giải pháp xử lý hiệu quả các chất màu hữu cơ trong nước thải công nghiệp là một yêu cầu cấp thiết. Hiện nay, có nhiều phương pháp xử lý chất màu hữu cơ trong nước thải, bao gồm phương pháp hóa học (oxy hóa nâng cao, khử hóa học), phương pháp sinh học (sử dụng vi sinh vật phân hủy thuốc nhuộm) và phương pháp vật lý (hấp phụ, màng lọc). Trong đó, phương pháp hấp phụ được coi là một giải pháp tối ưu nhờ tính đơn giản, hiệu suất cao, chi phí hợp lý và khả năng ứng dụng rộng rãi. Hấp phụ là quá trình trong đó các phân tử chất ô nhiễm bị giữ lại trên bề mặt của vật liệu hấp phụ thông qua các tương tác vật lý hoặc hóa học. Hiệu suất của quá trình hấp phụ phụ thuộc vào đặc tính của vật liệu hấp phụ, chẳng hạn như diện tích bề mặt riêng, kích thước lỗ xốp, nhóm chức bề mặt và khả năng tái sử dụng [1-4]. Với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ nano, các vật liệu hấp phụ nano đang nhận được nhiều sự quan tâm do những ưu điểm vượt trội như diện tích bề mặt lớn, khả năng hấp phụ mạnh, tính chất hóa lý có thể điều chỉnh và khả năng tái sử dụng nhiều lần. Một số vật liệu nano phổ biến được sử dụng trong quá trình hấp phụ bao gồm nano oxit kim loại (Fe_3O_4 , TiO_2 , ZnO), graphene oxide, carbon nanotubes và các vật liệu composite lai tạo. Những vật liệu này có thể được biến tính để tăng cường khả năng hấp phụ, đồng thời cải thiện khả năng tách rời khỏi môi trường nước sau khi sử dụng, giúp giảm thiểu ô nhiễm thứ cấp [4, 5]. Bài báo này sẽ trình bày phương pháp đồng kết tủa để tổng hợp vật liệu nano composite ZnO/chitosan và ứng dụng vật liệu tổng hợp được để làm chất hấp phụ xử lý chất màu congo đỏ trong môi trường nước.

2. THỰC NGHIỆM

Quy trình tổng hợp

Các hóa chất sử dụng trong bài báo này đều là loại tinh khiết phân tích. Quy trình tổng hợp vật liệu được thực hiện theo phương pháp đã công bố trước đó, có điều chỉnh như sau: 12,75g muối $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ được hòa tan hoàn toàn trong 100 mL dung dịch chitosan (CS) 0,2%. Hỗn hợp thu được được khuấy đều bằng máy khuấy từ ở nhiệt độ 80°C trong vòng 30 phút. Sau đó, dung dịch NaOH 0,1M được nhỏ giọt từ từ vào đến khi pH của hệ đạt giá trị 10. Quá trình khuấy được tiếp tục duy trì trong 120 phút ở cùng điều kiện nhiệt độ. Kết tủa tạo thành được tách ra bằng máy ly tâm, sau đó được rửa bằng nước cất đến khi pH trung tính. Cuối cùng, mẫu được sấy khô ở 60°C trong 8 giờ và nghiền mịn bằng cối mã nã để thu được vật liệu cuối cùng kí hiệu là ZC-5 [5-7].

Đặc trưng vật liệu

Các đặc trưng hóa lý của vật liệu nano composite ZC-5 sau khi điều chế được khảo sát bằng nhiều phương pháp khác nhau. Cấu trúc và đặc điểm tinh thể được phân tích bằng máy nhiễu xạ tia X (Bruker D8), sử dụng nguồn phát $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda = 1,54\text{\AA}$), với tốc độ quét 0,02°/s, trong dải góc 20° - 70°... Quan sát hình thái bề mặt và đánh giá kích thước hạt được thực hiện bằng kính hiển vi điện tử quét (Hitachi S-4800) và kính hiển vi điện tử truyền qua (JEOL JEM-1010). Đồng thời, nồng độ chất màu congo đỏ được xác định bằng phổ hấp thụ UV-Vis trên thiết bị Agilent 8453.

Quá trình hấp phụ chất màu congo đỏ

Quá trình hấp phụ chất màu congo đỏ lên vật liệu nanocomposite ZC-5 được tiến hành theo quy trình sau: chính xác 0,05g vật liệu được cân và đưa vào bình phản ứng chứa 50mL dung dịch chất màu congo đỏ với các nồng độ ban đầu khác nhau. Hệ phản ứng được lắc liên tục bằng máy lắc ngang nhằm đảm bảo sự tiếp xúc hiệu quả giữa chất hấp phụ và dung dịch chất màu. Tại các thời điểm xác định, 5mL dung dịch được lấy ra và ly tâm ở tốc độ 6000 vòng/phút để loại bỏ phần chất rắn. Nồng độ chất màu congo đỏ còn lại trong dung dịch được xác định bằng phương pháp đo quang phổ UV-Vis tại bước sóng hấp thụ cực đại của chất màu congo đỏ là 494nm. Sau khi đo, dung dịch đã lấy được hoàn trả vào hệ phản ứng ban đầu để đảm bảo thể tích không đổi trong suốt quá trình khảo sát [7, 8].

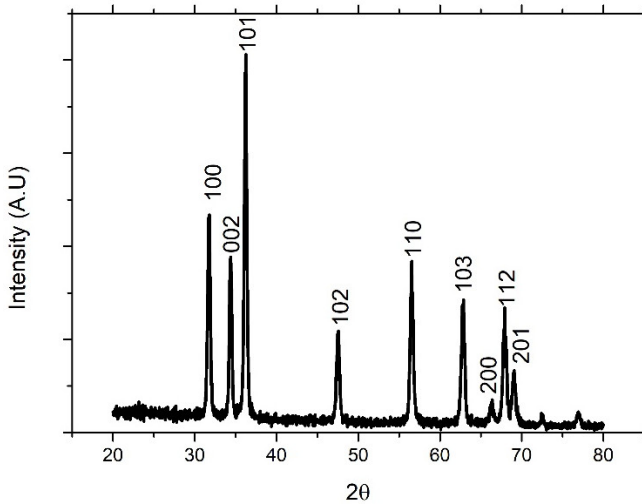
Công thức tính hiệu suất hấp phụ như sau:

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

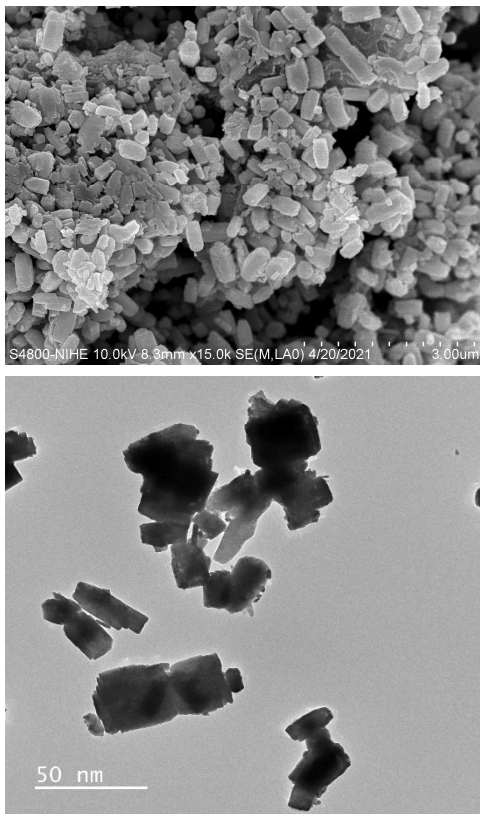
trong đó, C_0 là nồng độ chất bị hấp phụ chất màu congo đỏ ở thời điểm ban đầu, C_t (mg.l^{-1}) là nồng độ chất màu congo đỏ trong dung dịch tại thời điểm t.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Phổ nhiễu xạ tia X (XRD) của vật liệu composite ZC-5 (hình 1) cho thấy các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng tại các góc 2 θ , tương ứng với các mặt phẳng (hkl) của cấu trúc tinh thể lục phương wurtzite của ZnO (theo JCPDS card số 36-1451) [7, 9]. Không ghi nhận các tín hiệu pha tạp, khẳng định sản phẩm tổng hợp có độ tinh khiết cao. Kích thước tinh thể trung bình, tính toán theo phương trình Debye-Scherrer ($D = k\lambda/\beta\cos\theta$), vào khoảng 29,6nm [7, 9]. Kết quả này phù hợp với kích thước hạt quan sát được từ ảnh hiển vi điện tử truyền qua (TEM) và hiển vi điện tử quét (SEM), cho thấy sự đồng nhất về cấu trúc và kích thước của vật liệu nano composite ZC-5.



Hình 1. Phổ nhiễu xạ tia X của mẫu nanocomposite ZC-5

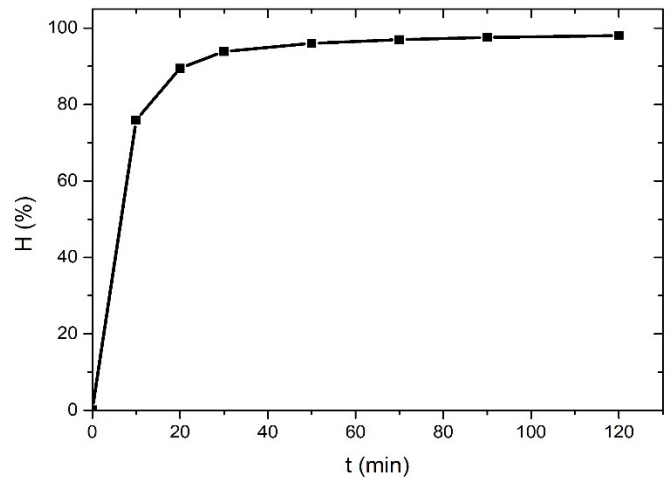


Hình 2. Ảnh FESEM (trái) và TEM (phải) của mẫu vật liệu mẫu nanocomposite ZC-5

Hình 2 là ảnh chụp FESEM và TEM của vật liệu composite ZC-5 đã được tổng hợp. Kết quả cho thấy, vật liệu bao gồm các hạt hình cầu và các hạt hình lục giác có kích thước từ 20 - 40nm. Kết quả này phù hợp với một số nghiên cứu khác đó là khi sử dụng nguyên liệu đầu là muối $Zn(CH_3COO)_2$ thì sản phẩm vật liệu ZnO sẽ có dạng hình que, còn sử dụng nguyên liệu đầu là muối $Zn(NO_3)_2$ thì sản phẩm thu được sẽ có hình cầu hoặc hình lục giác tùy theo tỉ lệ giữa các chất [5-7, 10]. Điều này có thể sẽ

giúp chúng ta có thể điều khiển được hình dáng của vật liệu tùy theo mục đích sử dụng.

Vật liệu nanocomposite ZC-5 được sử dụng làm vật liệu hấp phụ nhằm xử lý chất màu congo đỏ trong dung dịch nước. Mối quan hệ giữa hiệu suất hấp phụ chất màu congo đỏ và thời gian hấp phụ được trình bày ở hình 3, có thể thấy trong khoảng 40 phút đầu tiên, giá trị hiệu suất hấp phụ tăng nhanh chóng tới tốc độ hấp phụ congo đỏ của vật liệu ZC-5 rất cao, rồi sau đó tốc độ hấp phụ giảm dần và đạt tới cân bằng trong khoảng 40 - 60 phút. Điều này có thể do đầu tiên các tâm hấp phụ còn nhiều nên tốc độ hấp phụ tăng nhanh, sau đó các tâm hấp phụ bị chiếm chỗ bởi congo đỏ làm tốc độ hấp phụ giảm xuống rồi cuối cùng đạt tới cân bằng sau khoảng 120 phút, hiệu suất hấp phụ đạt hơn 98%.



Hình 3. Đồ thị mối quan hệ giữa thời gian (t) và hiệu suất hấp phụ congo đỏ (H%) (thể tích: 50mL; lượng chất hấp phụ: 0,05g; nồng độ congo đỏ ban đầu: 100mg/L)

Động học quá trình hấp phụ congo đỏ của mẫu nano composite ZC-5 được nghiên cứu bằng cách sử dụng 2 mô hình động học là phương trình động học biểu kiến bậc nhất và bậc hai [8].

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{K_1}{2,303} \cdot t \tag{I}$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 \cdot q_e^2} + \frac{1}{q_e} \cdot t \tag{II}$$

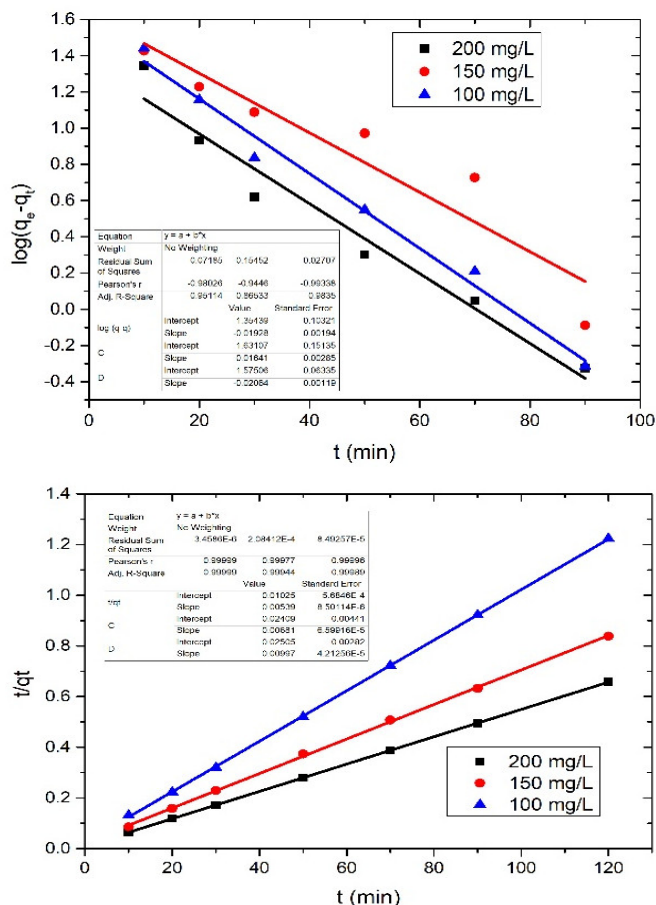
Trong đó:

- q_e (mg/g): lượng chất màu congo đỏ hấp phụ tại thời điểm cân bằng.

- q_t (mg/g): lượng chất màu congo đỏ hấp phụ tại thời điểm t (phút).

- K_1 (phút⁻¹), K_2 (g.mg⁻¹.phút⁻¹): hằng số tốc độ phương trình động học biểu kiến bậc nhất và bậc hai.

Trong thí nghiệm này, lượng chất hấp phụ nano composite ZC-5 là: 0,05g và thay đổi nồng độ dung dịch chất màu congo đỏ ban đầu lần lượt là 100, 150 và 200mg/L. Kết quả được thể hiện trên hình 4 và bảng 1, 2.



Hình 4. Đồ thị mô hình động học hấp phụ biểu kiến bậc nhất (trái) và đồ thị mô hình động học hấp phụ bậc hai biểu kiến (phải)

Bảng 1. Thông số phương trình động học bậc nhất biểu kiến

Nồng độ ban đầu chất màu congo đỏ	Động học biểu kiến bậc nhất			
	q _{e,exp} (mg/g)	K ₁ (phút ⁻¹)	q _{e,cal} (mg/g)	R ²
CR 100mg/l	98,05	0,057990	22,615	0,986
CR 150mg/l	143,23	0,039934	42,75	0,8923
CR 200mg/l	182,36	0,022477	37,5837	0,72566

Bảng 2. Thông số phương trình động học bậc hai biểu kiến

Nồng độ ban đầu chất màu congo đỏ	Động học biểu kiến bậc hai			
	q _{e,exp} (mg/g)	K ₂ (g.mg ⁻¹ phút ⁻¹)	q _{e,cal} (mg/g)	R ²
CR 100mg/l	98,05	0,000975	100,03	0,99957
CR 150mg/l	143,23	0,001925	146,84	0,99973
CR 200mg/l	182,36	0,002834	185,52	0,99995

q_{e,exp}: dung lượng hấp phụ khi cân bằng (thực nghiệm)

q_{e,cal}: dung lượng hấp phụ tính theo mô hình

Kết quả thu được qua bảng 1 và 2 cho thấy, đối với mô hình động học bậc 1 biểu kiến mặc dù hệ số tương quan không thấp tuy nhiên khi áp dụng mô hình để tính các giá trị dung lượng hấp phụ thì giá trị khác rất nhiều so với giá trị dung lượng hấp phụ thực nghiệm. Trong khi đó, trong mô hình hấp phụ biểu kiến bậc 2, các giá trị hệ số tương quan R² rất cao và các giá trị dung lượng hấp phụ tính theo mô hình đều xấp xỉ giá trị thực nghiệm. Từ đó có thể kết luận quá trình hấp phụ chất màu congo đỏ của nano composite ZC-5 tuân theo phương trình động học biểu kiến bậc hai.

Để nghiên cứu sâu hơn về cơ chế quá trình hấp phụ, hai mô hình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir và Freundlich đã được sử dụng để phân tích quá trình hấp phụ chất màu congo đỏ trên vật liệu nano ZC-5. Mô hình Langmuir giả thiết sự hấp phụ đơn lớp tại các vị trí đồng nhất, không có sự tương tác giữa các phân tử bị hấp phụ, trong khi mô hình Freundlich đặc trưng cho sự hấp phụ đa lớp trên bề mặt không đồng nhất. Các phương trình tuyến tính hóa của hai mô hình đẳng nhiệt được trình bày dưới đây [8]:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{q_m \cdot K_L}$$

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e$$

Trong đó:

q_e (mg/g) là dung lượng hấp phụ congo đỏ ở trạng thái cân bằng.

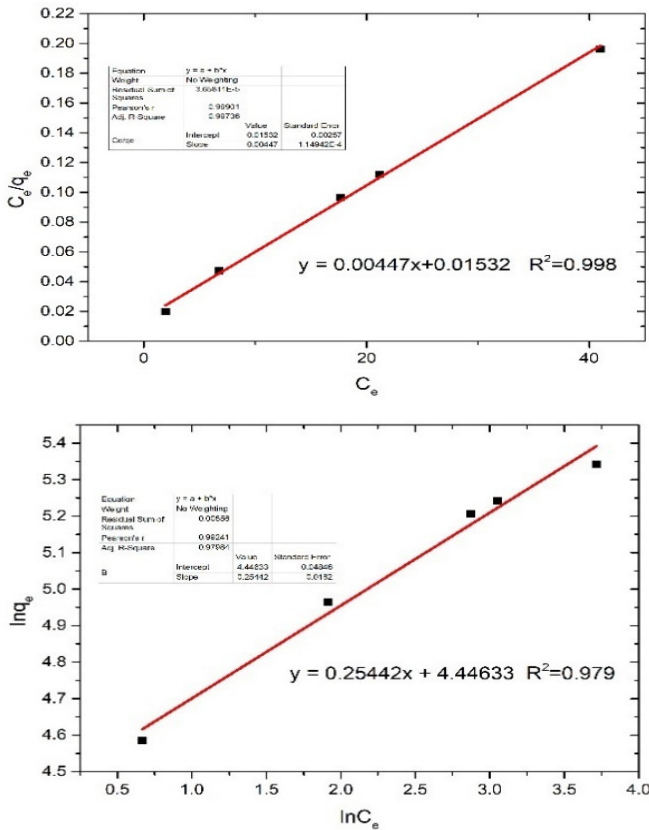
q_m (mg/g) là dung lượng hấp phụ cực đại theo lý thuyết.

C_e (mg/L) là nồng độ congo đỏ ở trạng thái cân bằng.

K_L (L/mg), K_F ((mg/g).(L/mg)^{1/n}) lần lượt là các hằng số Langmuir và Freundlich.

Kết quả đường đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich và các thông số của nó được mô tả trong hình 5 và bảng 3. Kết quả thu được cho thấy quá trình hấp phụ đẳng nhiệt congo đỏ tuân theo phương trình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir với hệ số tương quan R² là 0,998 lớn hơn so với phương trình Freundlich (R² = 0,979). Do đó, quá trình hấp phụ là đơn lớp với độ hấp phụ cực đại theo lý thuyết là 223,71 (mg/g).

Dung lượng hấp phụ cực đại chất màu congo red của vật liệu nanocomposite ZC-5 tổng hợp được tương đương và cao hơn so với một số vật liệu hấp phụ khác trong các nghiên cứu đã được công bố trước đây (bảng 4). Vì vậy có thể kết luận rằng nanocomposite ZC-5 thu được có tiềm năng cao để có khả năng áp dụng loại bỏ màu congo đỏ.



Hình 5. Đường đẳng nhiệt Langmuir (trái) và Freundlich (phải) hấp phụ chất màu congo đỏ của vật liệu nanocomposite ZC-5

Bảng 3. Các thông số phương trình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir và Freundlich

Hấp phụ Langmuir			Hấp phụ Freundlich		
q_m (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	K_F (mg/g).(L/mg) ^{1/n}	1/n	R^2
223,71	0,18434	0,998	85,168	0,2442	0,979

Bảng 4. Dung lượng hấp phụ cực đại của một số chất hấp phụ đã được công bố

Chất hấp phụ	q_m (mg/g)	Tham khảo
graphen oxit/polyvinyl alcohol/Fe ₃ O ₄	23,31	[11]
MIL-53(Al)@rGO	128,21	[12]
Magnetic CS/carrageenan ampholytic microspheres	212,7	[13]
Chitosan coated magnetic Fe ₃ O ₄ particle	42,62 - 56,66	[14]
Zinc peroxide nanomaterial	208	[15]
Mg-doped ZnO NPs	125	[16]
Vật liệu nanocomposite ZC-5	223,71	Nghiên cứu này

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, vật liệu nanocomposite ZnO/chitosan (ZC-5) đã được tổng hợp thành công bằng

phương pháp đồng kết tủa. Vật liệu nanocomposite ZC-5 sau khi tổng hợp được phân tích đặc trưng bằng các phương pháp phổ nhiễu xạ tia X, kính hiển vi điện tử quét và hiển vi điện tử truyền qua. Kết quả cho thấy kích thước trung bình của tinh thể nano ZnO khoảng 29,6nm. Kết quả hình ảnh FESEM, TEM cho thấy vật liệu nano ZC-5 có dạng hạt hình cầu và hình lục giác có kích thước trong khoảng 20 - 40nm. Vật liệu tổng hợp được đã được sử dụng để xử lý loại bỏ chất màu congo đỏ khỏi dung dịch nước. Kết quả là thời gian hấp phụ đạt được cân bằng sau khoảng 50 - 60 phút, kết quả hấp phụ phù hợp hơn với mô hình đẳng nhiệt Langmuir. Vật liệu được chứng minh có khả năng hấp phụ tốt chất màu congo đỏ với dung lượng hấp phụ cực đại là 223,71mg/g, chứng tỏ vật liệu hoàn toàn có khả năng phát triển thêm để tiến tới ứng dụng làm chất hấp phụ chất màu hữu cơ.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Bách khoa Hà Nội trong đề tài mã số T2024- PC-070

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Madhav S., Ahamad A., Singh P., et al., "A review of textile industry: Wet processing, environmental impacts, and effluent treatment methods," *Environ. Qual. Manag.*, 27(3), 31-41, 2018.
- [2]. Behera M., Nayak J., Banerjee S., et al., "A review on the treatment of textile industry waste effluents towards the development of efficient mitigation strategy: An integrated system design approach," *J. Environ. Chem. Eng.*, 9(4), 2021.
- [3]. Robinson T., McMullan G., Marchant R., et al., "Remediation of dyes in textile effluent: A critical review on current treatment technologies with a proposed alternative," *Bioresour. Technol.*, 77(3), 247-255, 2001.
- [4]. J. Fadzli, K.H. Ku Hamid, N.R. Nik Him, S.W. Puasa, "A critical review on the treatment of reactive dye wastewater," *Desalination Water Treat.*, 257, 185-203, 2022.
- [5]. Nguyen N.T., Nguyen N.T., Nguyen V.A., "In situ synthesis and characterization of ZnO/chitosan nanocomposite as an adsorbent for removal of congo red from aqueous solution," *Adv. Polym. Technol.*, 1-8, 2020.
- [6]. Nguyễn Như Thanh, Nguyễn Thanh Tùng, Nguyễn Văn Anh, Nguyễn Thủy Chung, Nguyễn Ngọc Thịnh, "Xử lý chất màu congo red sử dụng vật liệu composite ZnO/chitosan kích thước nano," *Tạp chí Xúc tác và Hấp phụ Việt Nam*, 11(4), 57-62, 2022.
- [7]. Nguyễn Ngọc Thịnh, Nguyễn Văn Anh, Nguyễn Huy Hoàng, "Nghiên cứu khả năng hấp phụ chất màu methyl da cam trong dung dịch nước sử dụng vật liệu composite ZnO/chitosan kích thước nano," *Tạp Chí Khoa học Và Công nghệ Việt Nam bản B*, 67(2), 11-15, 2025.

[8]. Blachnio M., Budnyak T.M., Marczevska A.D., et al., "Chitosan-silica hybrid composites for removal of sulfonated azo dyes from aqueous solutions," *Langmuir*, 34(6), 2258-2273, 2018.

[9]. A. Ashar, I.A. Bhatti, T. Siddique, et al., "Integrated hydrothermal assisted green synthesis of ZnO nano discs and their water purification efficiency together with antimicrobial activity," *J. Mater. Res. Technol.*, 15, 6901-6917, 2021.

[10]. P. Bhadra, M.K. Mitra, G.C. Das, et al., "Interaction of chitosan capped ZnO nanorods with *Escherichia coli*," *Mater. Sci. Eng. C*, 31(5), 929-937, 2011.

[11]. Lê Diệu Thư, Trần Vĩnh Hoàng, "Nghiên cứu quá trình hấp phụ Congo đỏ (Congo Red - CR) trên vật liệu graphen oxit/polyvinyl alcohol/Fe₃O₄," *Tạp chí Xúc tác và Hấp phụ Việt Nam*, 10(1), 31-35, 2021.

[12]. Hoàng Thị Linh Giang, Nguyễn Đức Quân, Đào Văn Thành, Bùi Phương Linh, Nguyễn Thị Tuyết Mai, Đặng Thị Minh Huệ, "Nghiên cứu tổng hợp vật liệu composite MIL-53(Al)/rGO ứng dụng hấp phụ chất màu Congo đỏ trong môi trường nước," *Tạp chí Xúc tác và Hấp phụ Việt Nam*, 13(1), 129-133, 2024.

[13]. X. Liang, J. Duan, Q. Xua, et al., "Ampholytic microspheres constructed from chitosan and carrageenan in alkali/urea aqueous solution for purification of various wastewater," *Chem. Eng. J.*, 317, 766-776, 2017.

[14]. Zhu H., Zhang M., Liu Y., Zhang L., et al., "Study of Congo red adsorption onto chitosan coated magnetic iron oxide in batch mode," *Desalination and Water Treatment*, 37, 46-54, 2012.

[15]. S. Chawla, H. Uppal, M. Yadav, et al., "Zinc peroxide nanomaterial as an adsorbent for removal of Congo red dye from wastewater," *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 135, 68-74, 2017.

[16]. P.P. Ratha, S.S. Behera, B. Priyadarshini, et al., "Influence of Mg doping on ZnO NPs for enhanced adsorption activity of Congo Red dye," *Appl. Surf. Sci.*, 491, 256-266, 2019.

AUTHORS INFORMATION

Ngoc Thinh Nguyen¹, Van Anh Nguyen²

¹School of Chemistry and Life Science, Hanoi University of Science and Technology, Vietnam

²Faculty of Engineering and Environment, Hanoi Metropolitan University, Vietnam