



Tổng hợp hệ vật liệu từ tính chitosan/C@Fe₃O₄ composite ứng dụng loại bỏ ion kim loại Cu²⁺ và Pb²⁺ trong dung dịch nước

Preparation of magnetic chitosan/C@Fe₃O₄ composite for removal of Cu²⁺ và Pb²⁺ ion in aqueous solution

Nguyễn Thị Hồng Anh

Khoa Công nghệ Hóa học, Trường Đại học công nghiệp Thực phẩm TP. HCM

*Email: anhnth@hufi.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 21/2/2023

Accepted: 28/5/2023

Published: 30/9/2023

Keywords:

Adsorption, chitosan, heavy metal ion, rice husk, composite

ABSTRACT

In this study, the chitosan/C@Fe₃O₄ composite was applied to remove metal ions Cu²⁺ and Pb²⁺ in aqueous solution. The results showed that the adsorption efficiency was over 90% in 120 min with an initial concentration of 50 mg/L Cu²⁺ and Pb²⁺. Various factors affected adsorption processes such as concentration, time and temperature were also conducted. The results showed that the removal efficiency of Cu metal ions was higher than that of Pb²⁺ with the initial concentration of 50 mg/L, the time of 120 min. The removal efficiencies were up to 90.54 and 83.5 % for Cu²⁺ and Pb²⁺, respectively. In addition, kinetic models of the adsorption process were also studied.

Giới thiệu chung

Ở Việt Nam, môi trường đang dần bị suy thoái, xâm hại trong đó có môi trường nước. Có rất nhiều nguyên nhân dẫn đến ô nhiễm môi trường nước mà nguyên nhân chủ yếu là do hoạt động sản xuất công nghiệp. Hậu quả là môi trường nước bị ô nhiễm nghiêm trọng bởi các hợp chất hữu cơ, các kim loại nặng. Để có thể kiểm soát cũng như giảm thiểu ô nhiễm thì việc áp dụng các phương pháp xử lý nước thải là việc không thể thiếu và có ý nghĩa hết sức quan trọng, đặc biệt là các phương pháp xử lý kim loại nặng trong nước [1].

Có rất nhiều phương pháp khác nhau đã được nghiên cứu và áp dụng để loại bỏ kim loại nặng ra khỏi nguồn nước, như: phương pháp hóa học và hóa lý (phương pháp kết tủa, phương pháp hấp phụ, trao đổi ion ...) [2,3]. Trong đó, phương pháp hấp phụ được áp dụng rộng rãi và cho kết quả rất khả thi. Một trong những

vật liệu sử dụng để hấp phụ kim loại nặng đang được rất nhiều người quan tâm là các phụ phẩm nông nghiệp, như: bã mía, vỏ trấu, lõi ngô, ... Hướng nghiên cứu này có nhiều ưu điểm là đi từ nguyên liệu rẻ tiền, sẵn có, qui trình đơn giản, có tính ứng dụng cao trong thực tế và không đưa thêm vào môi trường những tác nhân độc hại [4,5]. Hiện nay, phương pháp hấp phụ đang được quan tâm và ứng dụng rộng rãi để xử lý nước thải do dễ thực hiện, giá thành thấp và hiệu quả cao. Bên cạnh những ưu điểm đó, nhược điểm lớn nhất của phương pháp hấp phụ là khó thu hồi sau khi hấp phụ do vật liệu có kích thước nhỏ [4].

Chitosan là một sản phẩm của chitin, là một polymer tự nhiên mang điện tích dương bao gồm các phản ứng của nhóm amin và nhóm hydroxyl. Gần đây, chitosan đã được sử dụng làm nguyên liệu thô để tổng hợp hydrogel trong một loạt các ứng dụng tiềm năng và thực tế như xử lý nước thải, phân phối thuốc và kỹ

thuật mô. Chitosan và chitosan được biến tính để hấp phụ các ion kim loại khác nhau như các ion Zn (II), Hg (II), Cr (VI) và các cation khác [6,7]. Do sự hiện diện của một số lượng lớn các nhóm hydroxyl và amino, các ion kim loại có thể được hấp thụ bởi chitosan và các dẫn xuất của nó thông qua cơ chế phức.

Vỏ trấu hiện nay được coi như một loại phế phẩm nông nghiệp có giá trị kinh tế thấp, chủ yếu sử dụng làm chất đốt. Với hàm lượng carbon cao trong vỏ trấu (43,5%), trong nghiên cứu này vỏ trấu được sử dụng như một loại nguyên liệu để sản xuất than (C) ứng dụng trong làm vật liệu hấp phụ [8,9]. Các yếu tố vật lý và hóa học ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ kim loại nặng từ nước thải, đó là pH, nồng độ ion kim loại ban đầu, nhiệt độ, khối lượng chất hấp phụ, kích thước hạt, v.v.. Các yếu tố này ảnh hưởng đến hiệu suất của quá trình hấp phụ. Nhiều nghiên cứu đã cho thấy về ảnh hưởng của các thông số khác nhau đến quá trình hấp phụ ion Cu(II) và Pb(II). Khả năng hấp của Cu và Pb trên vỏ cam tăng lên khi tăng khối lượng chất hấp phụ. Hiệu suất hấp phụ Cu và Pb cao nhất lần lượt là 86,27% và 98,85%. Mô hình đẳng nhiệt hấp phụ của ion Cu(II) và Pb(II) trên chất hấp phụ thường được nghiên cứu mối tương quan với mô hình Langmuir và Freundlich. Các nghiên cứu động học và đẳng nhiệt cho thấy các mô hình đẳng nhiệt bậc một hoặc bậc hai và dữ liệu thực nghiệm cho thấy sự hấp phụ phù hợp với mô hình Langmuir và Freundlich [10].

Dựa vào những yếu tố trên, trong nghiên cứu này, hệ vật liệu từ tính chitosan/C@Fe₃O₄ composite được tổng hợp bằng phương pháp đồng kết tủa và ứng dụng hấp phụ ion kim loại nặng. Đồng thời các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ và mô hình đẳng nhiệt hấp phụ cần được xem xét.

Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

Hóa chất

Chitosan (độ đề acetyl $\geq 75\%$) được mua từ hãng Xilong, Trung Quốc. Glutaraldehyde được cung cấp bởi Công ty Hóa chất Sigma Aldrich, Singapore. NaOH (96%), NH₄OH (25%) Pb(NO₃)₂ và CH₃COOH (96%) được mua từ Công ty Merk, Đức. FeCl₃.6H₂O và FeSO₄.7H₂O được cung cấp bởi hãng Xilong, Trung Quốc. Vỏ trấu được thu thập từ Tỉnh An Giang, Việt Nam. Các hóa chất và dung môi có độ tinh khiết hóa học và được sử dụng trực tiếp khi mua từ nhà cung cấp.

Tổng hợp than (C) từ vỏ trấu

Vỏ trấu được rửa sạch bằng nước cất sau đó sấy ở nhiệt độ 105 °C để loại nước. Cân 5g vỏ trấu sấy khô cho vào chén nung rồi đem đi nung ở nhiệt độ 650 °C trong môi trường khí N₂ liên tục trong 1 giờ thu được than. Sau đó, than được loại bỏ SiO₂ bằng cách cho 5g than vào 200 mL dung dịch NaOH 12%, khuấy với tốc độ 500 vòng/phút ở 80 °C trong 1 giờ. Hỗn hợp sau khuấy được để nguội, rửa bằng nước cất đến khi pH = 7, lọc, sấy, ta được than đã loại bỏ SiO₂.

Tổng hợp C@Fe₃O₄

Hòa tan hỗn hợp gồm hai muối sắt (III) chloride hexahydrate (FeCl₃.6H₂O) và sắt (II) sulfate heptahydrate (FeSO₄.7H₂O) theo tỷ lệ 2 : 1 vào nước cất. Khuấy với tốc độ 500 vòng/phút ở nhiệt độ phòng trong 10 phút ta được dung dịch màu vàng cam. Sau đó, cho than tổng hợp ở trên vào, tiếp tục khuấy trong 30 phút. Cho từ từ dung dịch NaOH 1M vào dung dịch trên với tốc độ 1 giọt/giây, cho đến khi pH = 12 dung dịch chuyển từ màu vàng cam sang màu nâu đen rồi dần dần thành màu đen. Dung dịch sau khi chỉnh pH sẽ được chuyển vào chén nung rồi đem đi sấy ở 160 °C trong vòng 6 giờ, để nguội, trung hòa với nước khử ion đến khi pH = 7, lọc, sấy ta thu được vật liệu carbon từ tính. Vật liệu C@Fe₃O₄ có tỷ lệ C : Fe₃O₄ là 9:1

Tổng hợp composite chitosan/C@Fe₃O₄

Dung dịch chitosan 1% được chuẩn bị bằng cách hòa tan 1 g chitosan vào 99 mL dung dịch acid acetic 1%, khuấy ở nhiệt độ phòng trong 3 giờ, lọc dung dịch. Sau đó, cân một lượng carbon từ tính cho vào becher chứa dung dịch chitosan 1%, khuấy ở nhiệt độ phòng trong 3 giờ. Sau khi kết thúc, tiến hành trung hòa bằng dung dịch NaOH 1M để pH = 8÷9, để già hóa qua đêm, sau đó rửa bằng nước khử ion đến pH = 7, lọc, sấy ta thu được vật liệu chitosan/C@Fe₃O₄. Composite được tiến hành khảo sát tỷ lệ của thành phần hữu cơ (chitosan) và thành phần vô cơ (C@Fe₃O₄) là 2:1.

Khảo sát khả năng hấp phụ ion kim loại

Ảnh hưởng của khối lượng vật liệu được thực hiện như sau: Cho lần lượt 0,05, 0,1 và 0,2 g vật liệu chitosan/C@Fe₃O₄ vào 3 bình tam giác có 50 mL dung dịch nước chứa ion kim loại Cu²⁺ hoặc Pb²⁺. Các bình tam giác được lắc với tốc độ 200 vòng/phút liên tục trong 120 phút. Pha rắn của dung dịch sau hấp phụ được tách bằng nam châm, nồng độ còn lại của dung dịch được phân tích bằng phương pháp phổ hấp thụ nguyên tử (F-AAS, Hitachi ZA3000). Mỗi thí nghiệm

được tiến hành ba lần để lấy giá trị trung bình. Hiệu suất hấp phụ được xác định bằng công thức $(C_0 - C_e)/C_0 \times 100$ (1): Trong đó C_0 và C_e lần lượt là nồng độ của ion kim loại ban đầu và sau hấp phụ.

Ảnh hưởng đồng thời của thời gian hấp phụ và nồng độ ban đầu ion kim loại đến hiệu suất hấp phụ được tiến hành bằng cách: Cho 0,2 g vật liệu hấp phụ vào 50 mL dung dịch nước thải chứa ion kim loại Cu^{2+} hoặc Pb^{2+} với các nồng độ ban đầu từ 10 đến 50mg/L trong khoảng thời gian từ 0,5 đến 120 phút. Pha rắn của dung dịch sau hấp phụ được tách bằng nam châm, nồng độ ion kim loại còn lại sau hấp phụ được phân tích bằng phương pháp phổ hấp thụ nguyên tử (F-AAS, Hitachi ZA3000). Ngoài ra, ảnh hưởng của pH được tiến hành ở các khoảng pH= 3,5; 5; và 6,5 trong khoảng thời gian từ 0,5 đến 120 phút được tiến hành tương tự.

Kết quả và thảo luận

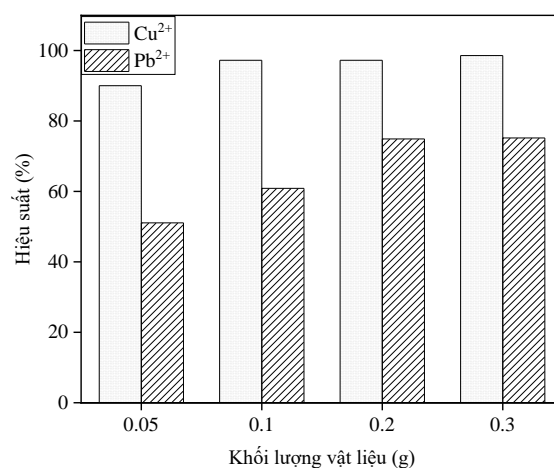
Đặc trưng của vật liệu

Tổng hợp và xác định cấu trúc của composite chitosan/C@ Fe_3O_4 được thực hiện trong nghiên cứu trước đây của nhóm chúng tôi [11]. Cụ thể, kết quả SEM cho thấy bề mặt của vật liệu carbon gồm nhiều lỗ trống với kích thước khác nhau, có dạng hình tròn hoặc hình oval không đồng đều. SEM của vật liệu carbon sau khi phủ Fe_3O_4 , các hạt Fe_3O_4 đã bám lên trên bề mặt carbon làm cho kích thước của lỗ xốp và hình dạng của composite thay đổi. Kết quả phổ hồng ngoại của vật liệu được thực hiện ở số sóng từ 4000 – 400 cm^{-1} . Đối với composite chitosan/C@ Fe_3O_4 ta đều thấy xuất hiện các đỉnh hấp thụ đặc trưng của chitosan. Cụ thể, với các dải hấp thụ ở khoảng 2918 và 2870 cm^{-1} có thể được quy cho sự kéo dài đối xứng và không đối xứng của nhóm C–H, các dải này là đặc điểm điển hình của polysaccharit. Với đỉnh hấp thụ ở 1558 cm^{-1} tương ứng với dao động kéo dài của nhóm N – H (amin bậc II). Các dạng đối xứng của nhóm CH_2 và CH_3 được thể hiện ở các các đỉnh hấp thụ 1423 và 1375 cm^{-1} . Dải hấp thụ ở 1150 cm^{-1} có thể được quy cho sự kéo dài không đối xứng của cầu C – O – C. Các dải ở 1066 và 1028 cm^{-1} tương ứng với dao động kéo dài của nhóm C–O [12]. XRD cho thấy composite được bổ sung thành phần từ tinh thể Fe_3O_4 thông qua các peak hiển thị ở vị trí $2\theta = 36, 43, 53, 63^\circ$ tương ứng với các chỉ số Miller của mặt phẳng tinh thể lập phương của Fe_3O_4 là (220), (400), (422), (440). Kết quả nhiễu xạ XRD của composite chitosan/C@ Fe_3O_4 đều xuất hiện

các peak của tinh thể Fe_3O_4 . Bên cạnh đó, composite với các tỷ lệ khác nhau và carbon đều có sự xuất hiện peak của carbon ở vị trí $2\theta = 23^\circ$ [11].

Khả năng hấp phụ ion kim loại Cu^{2+} và Pb^{2+}

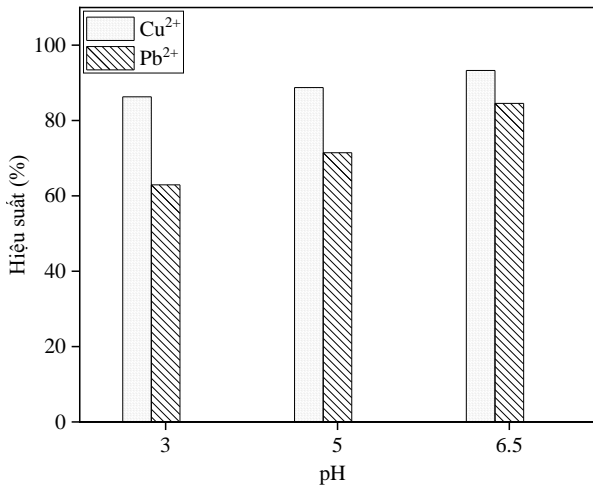
Ảnh hưởng của khối lượng vật liệu lên khả năng hấp phụ ion kim loại đóng vai trò quan trọng. Kết quả nghiên cứu trên hình 1 cho thấy khả năng hấp phụ ion kim loại của vật liệu chitosan/C@ Fe_3O_4 với khối lượng từ 0,05 đến 0,2 g là khác nhau. Cụ thể, với khối lượng 0,05 g vật liệu chitosan/C@ Fe_3O_4 thì hiệu suất hấp phụ của ion kim loại Cu^{2+} (90,03 %) cao hơn so với ion kim loại Pb^{2+} (51,07 %). Khi khối lượng vật liệu chitosan/C@ Fe_3O_4 tăng lên 0,1 g thì hiệu suất hấp phụ với các ion kim loại tăng, cao nhất là Cu^{2+} đạt 97,26 %, tiếp theo là Pb^{2+} 60,89 %. Tiếp tục tăng khối lượng vật liệu chitosan/C@ Fe_3O_4 lên 0,2 g thì hiệu suất hấp phụ với các ion kim loại tăng lên cụ thể Cu^{2+} có hiệu suất hấp phụ cao nhất 98,03 %, và Pb^{2+} đạt 74,90 %. Khi tăng lên 0,3 g thì hiệu suất hấp phụ tăng không đáng kể từ 98,03 lên 98,5% đối với $\text{Cu}(\text{II})$ và từ 74,9 lên 75,25 đối với $\text{Pb}(\text{II})$. Từ kết quả trên ta thấy khi tăng khối lượng vật liệu chitosan/C@ Fe_3O_4 thì hiệu suất hấp phụ với ion kim loại tăng lên đáng kể và đạt cân bằng sau 0,2 g.



Hình 1: Ảnh hưởng của khối lượng vật liệu đến hiệu suất hấp phụ ion kim loại

Ảnh hưởng của pH đến khả năng hấp phụ ion kim loại của chitosan/C@ Fe_3O_4 được thể hiện ở hình 2. Khả năng hấp phụ ion kim loại của chitosan/C@ Fe_3O_4 tốt nhất ở pH=6,5 đối với cả hai kim loại Cu^{2+} , Pb^{2+} và tăng dần khi pH tăng từ 3 lên 6,5. Điều này là do ở môi trường pH 6,5; các nhóm amin của chitosan mang điện tích âm có khả năng tạo lực tương tác tĩnh điện đối với ion kim loại mang điện tích dương, từ đó làm tăng hiệu

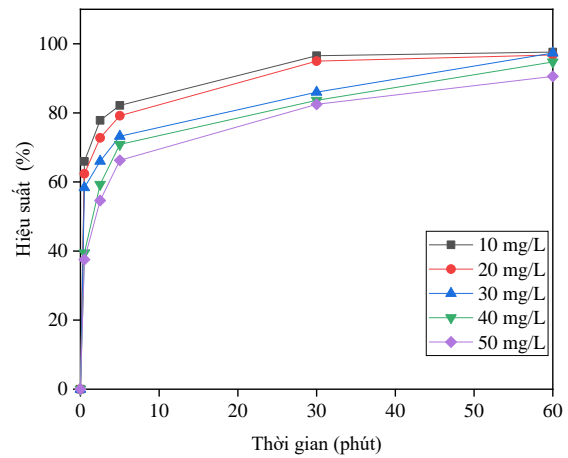
suất hấp phụ của vật liệu. Sự hấp phụ ion kim loại lên bề mặt chitosan/C@Fe₃O₄ bị chi phối bởi lực hút hoặc lực đẩy tĩnh điện giữa các dạng tồn tại của chitosan/C@Fe₃O₄ với bề mặt vật liệu. Trong môi trường (pH < pHPZC = 7,9), bề mặt chitosan/C@Fe₃O₄ tích điện dương do các nhóm hydroxyl trên bề mặt của vật liệu có thể bị proton hóa [13].



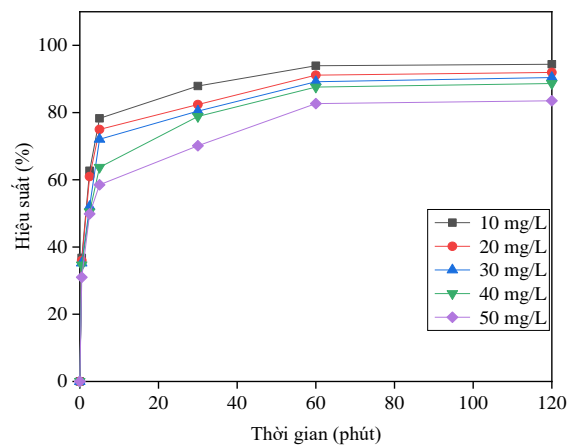
Hình 2: Ảnh hưởng của pH đến khả năng hấp phụ ion kim loại của chitosan/C@Fe₃O₄

Trong quá trình hấp phụ, thời gian và nồng độ là một trong những thông số quan trọng nhất giúp chúng ta xác định được thời gian mà quá trình hấp phụ đạt được trạng thái cân bằng và lượng ion kim loại hấp phụ tại thời điểm cân bằng phản ánh khả năng hấp phụ tối đa của chất hấp phụ trong các điều kiện cụ thể. Qua đồ thị hình 3 và hình 4 cho thấy quá trình hấp phụ xảy ra rất nhanh trong khoảng thời gian từ 0 đến 5 phút đầu, và đạt cân bằng sau 120 phút. Thời gian càng tăng, quá trình hấp phụ xảy ra càng chậm và quá trình hấp phụ đã đi vào trạng thái cân bằng sau 120 phút. Kết quả cho thấy composite chitosan/C@Fe₃O₄ có khả năng hấp phụ tốt và nhanh đối với ion kim loại. Bên cạnh đó, hiệu suất hấp phụ ion kim loại ở các nồng độ khác nhau của composite chitosan/C@Fe₃O₄ giảm dần khi tăng dần nồng độ ban đầu của ion kim loại từ 10 đến 50 mg/L. Cụ thể, với ion kim loại Cu²⁺ tại nồng độ 10 mg/L vật liệu cho khả năng loại bỏ ion kim loại cao nhất là 98,18 % và giảm xuống 90,54 % khi nồng độ ban đầu tăng lên 50 mg/L với thời gian 120 phút. Trong khi, hiệu suất hấp phụ tại 10 mg/L với kim loại Pb²⁺ là 94,4%. Hiệu suất hấp phụ giảm xuống 83,5% với kim loại Pb²⁺ tại nồng độ 50 mg/L. Hiệu suất loại bỏ ion kim loại cao ở nồng độ thấp do sự di chuyển nhanh hơn của các phân tử vào các vị trí hoạt động của composite. Tuy nhiên, ở nồng độ cao hơn tốc độ loại bỏ giảm do các phân tử cần khuếch tán

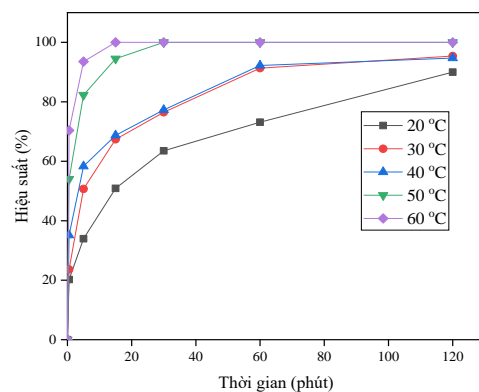
đến các vị trí hấp phụ bằng khuếch tán nội hạt. Ngoài ra, lực đẩy không gian giữa các phân tử chất tan có thể làm chậm quá trình hấp phụ và do đó làm giảm hiệu suất loại bỏ [14].



Hình 3: Hiệu suất hấp phụ ion Cu²⁺ của chitosan/C@Fe₃O₄

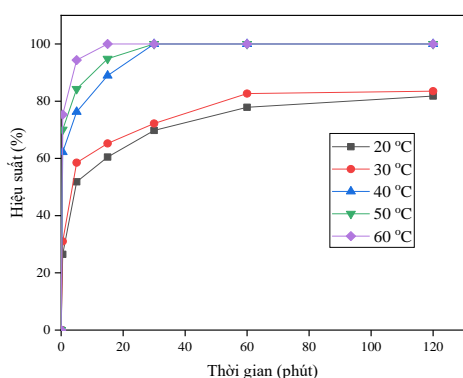


Hình 4: Hiệu suất hấp phụ ion Pb²⁺ của chitosan/C@Fe₃O₄



Hình 5: Ảnh hưởng của nhiệt độ đến khả năng hấp phụ ion Cu²⁺ của composite chitosan/C@Fe₃O₄

Kết quả thực nghiệm cho thấy nhiệt độ có ảnh hưởng lớn đến khả năng hấp phụ. Khi tăng nhiệt độ từ 20 đến 30 °C thì hiệu suất hấp phụ thay đổi không rõ rệt. Hiệu suất hấp phụ bắt đầu tăng mạnh ở nhiệt độ từ 40 đến 60 °C và đạt hiệu suất gần 100% (hình 5 và hình 6). Hiệu suất hấp phụ Cu²⁺ và Pb²⁺ bằng vật liệu tổng hợp được tăng khi nhiệt độ tăng, cho thấy quá trình hấp phụ là thu nhiệt. Sự gia tăng hiệu suất hấp phụ theo nhiệt độ có thể là do sự gia tăng số lượng các vị trí bề mặt hoạt động của vật liệu chitosan/C@Fe₃O₄ [5].



Hình 6: Ảnh hưởng của nhiệt độ đến khả năng hấp phụ ion Pb²⁺ của composite chitosan/C@Fe₃O₄

Mô hình hấp phụ đẳng nhiệt

Thực nghiệm về sự hấp phụ ion kim loại Cu²⁺ trên composite chitosan/C@Fe₃O₄ được mô tả bằng các mô hình Freundlich và Langmuir và mô hình Dubinin – Radushkevich. Từ kết quả tính toán ở Bảng 1 từ thực nghiệm giữa mối quan hệ giữa Ce và qe với các số liệu tính toán từ mô hình đẳng nhiệt cho thấy rằng mô hình của Freundlich là phù hợp với dữ liệu thực nghiệm trong nghiên cứu này (R² > 0,98), mô hình Dubinin–Radushkevich miêu tả không tốt sự hấp phụ của composite đối với ion kim loại Cu²⁺, còn mô hình của Langmuir không miêu tả được sự hấp phụ của composite. Dung lượng hấp phụ cực đại tương ứng với sự hấp phụ được tính từ mô hình đẳng nhiệt Freundlich ở 293K là 8,0135 mg/g; ở 303K là 12,173 mg/g; ở 313K là 13,2775 mg/g; ở 323K là 19,2042 mg/g; ở 333K là 21,9255 mg/g.

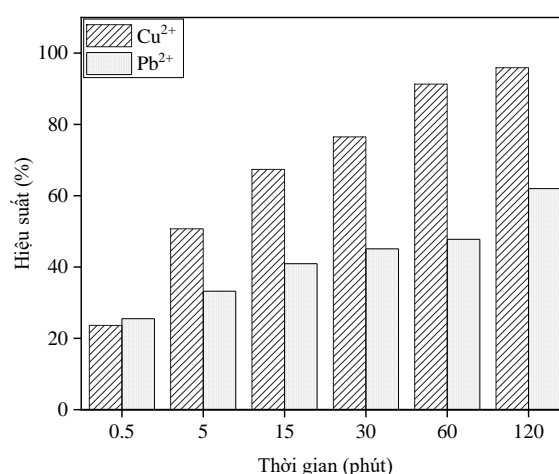
Giá trị n từ phương trình Freundlich ở cả ba nhiệt độ đều có giá trị 1 < n < 10 cho thấy mô hình thích hợp để mô tả quá trình hấp phụ ion kim loại Cu²⁺ xảy ra trên bề mặt composite chitosan/C@Fe₃O₄ ở khoảng nồng độ nghiên cứu. Hằng số 1/n trong mô hình Freundlich có liên quan đến cường độ hấp phụ và thay đổi theo độ không đồng nhất của vật liệu. Các giá trị

1/n ở cả 3 nhiệt độ khác nhau đều nhỏ hơn 1, điều này cho thấy sự hấp phụ ion kim loại Cu²⁺ của composite chitosan/C@Fe₃O₄ là thuận lợi và có xu hướng là hấp phụ hóa học.

Bảng 1: Các giá trị hằng số đẳng nhiệt của quá trình hấp phụ ion kim loại Cu²⁺ ở các nhiệt độ khác nhau

Mô hình đẳng nhiệt	Giá trị	Nhiệt độ (K)		
		293	303	313
Langmuir		293	303	313
	K _L (L/mg)	0,00784	0,00159	0,00632
	q _m (mg/g)	37,594	322,581	105,263
	R ²	0,5861	0,4911	0,5092
Freundlich	n	2,148	2,389	2,579
	K _F (mg/g) (L/mg) ^{1/n}	0,3606	0,5388	0,7549
	R ²	0,9896	0,9997	0,9974
Dubinin – Radushkevich	Q _{D-R} (mg/g)	22,539	25,587	26,994
	β (mol ² /kJ ²)	54,742	51,153	18,472
	E (kJ/mol)	0,00030	0,00031	0,00052
	R ²	0,851	0,8696	0,8439

Kết quả khảo sát khả năng hấp phụ cạnh tranh giữa hai ion kim loại Cu²⁺, Pb²⁺ với vật liệu composite chitosan/C@Fe₃O₄



Hình 7: Khả năng hấp phụ đồng thời ion kim loại Cu²⁺ và Pb²⁺ của composite chitosan/C@Fe₃O₄

Từ kết quả thực nghiệm cho thấy hiệu suất hấp phụ ion kim loại Cu²⁺ của vật liệu composite chitosan/C@Fe₃O₄ tốt hơn so với ion kim loại Pb²⁺. Với

ion kim loại Cu^{2+} ở thời gian 0,5 phút thì hiệu suất hấp phụ là 23,62 %, 5 phút là 50,71 %, 15 phút là 67,38 %, 30 phút là 76,48%, 60 phút là 91,31% và 120 phút đạt 95,91%. Còn với ion kim loại Pb^{2+} thì sau thời gian hấp phụ là 120 phút hiệu suất chỉ đạt 61,99%. Như vậy cho thấy, vật liệu composite chitosan/C@ Fe_3O_4 hấp phụ tương thích với ion kim loại Cu^{2+} (hình 7). Khả năng hấp phụ của Cu^{2+} cao hơn Pb^{2+} , điều này được giải thích do chitosan/C@ Fe_3O_4 có ái lực với Cu^{2+} cao hơn Pb^{2+} thông qua sự tương tác của nhóm amino của chitosan với Cu^{2+} .

Kết luận

Trong nghiên cứu này chúng tôi đã thành công sử dụng hệ vật liệu từ tính chitosan/C@ Fe_3O_4 ứng dụng loại bỏ ion kim loại Cu^{2+} và Pb^{2+} . Các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng hấp phụ ion kim loại của composite như: thời gian, nồng độ, nhiệt độ, và pH được tiến hành nghiên cứu. Ảnh hưởng của nồng độ cho thấy hiệu suất hấp phụ ion kim loại ở các nồng độ khác nhau giảm dần dần khi tăng dần nồng độ ion kim loại ban đầu của từ 10 đến 50 mg/L. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ cho thấy khi tăng nhiệt độ hiệu suất hấp phụ tăng lên. Dung lượng hấp phụ trong khoảng từ 12 -22 mg/g. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu hấp phụ đẳng nhiệt cho thấy, mô hình Freundlich mô tả tốt nhất quá trình hấp phụ ion kim loại bởi vật liệu composite chitosan/C@ Fe_3O_4 ($R^2 > 0,98$).

Lời cảm ơn

Tác giả xin gửi lời cảm ơn đến trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

1. C. R. Holkar, A. J. Jadhav, D. V. Pinjari, N. M. Mahamuni and A. B. Pandit, *J. Environ. Manage.* 182 (2016) 351–366. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.090>
2. M. Salgot and M. Folch, *Curr. Opin. Environ. Sci. Heal.* 2 (2018) 64–74. <https://doi.org/10.1016/J.COESH.2018.03.005>
3. G. Crini and E. Lichtfouse, *Environ. Chem. Lett.* 17 (2019) 145–155. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0785-9>
4. P. S. Kumar, R. Gayathri and B. S. Rathi, *Chemosphere* 285 (2021) 131438. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.131438>
5. F. Hassanzadeh-Afruzi, F. Esmailzadeh, S. Asgharnasl, F. Ganjali, R. Taheri-Ledari and A. Maleki, *Sep. Purif. Technol.* 291 (2022) 120956. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.120956>
6. J. Desbrières and E. Guibal, *Polym. Int.* 67 (2018) 7–14. <https://doi.org/10.1002/pi.5464>
7. V. C. Nguyen and T. K. N. Huynh, *Adv. Nat. Sci. Nanosci. Nanotechnol.* 5 (2014) 025007. <https://doi.org/10.1088/2043-6262/5/2/025007>
8. R. Lakshmana Naik, M. Rupas Kumar and T. Bala Narsaiah, *Mater. Today Proc.* <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.06.112>
9. T. N. P. Lan, H. V. T. Lương, T. B. Q. Trần, L. K. Phụng, N. H. Nam and L. P. Hưng, *Bản B của Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam* 64 (2022) 14–18. [https://doi.org/10.31276/VJST.64\(6\).14-18](https://doi.org/10.31276/VJST.64(6).14-18)
10. T. H. A. Nguyen, T. D. M. Tran, T. Ky Vo, Q. T. Nguyen and V.-C. Nguyen, *Chem. Eng. Commun.*, (2022) 1–13. <https://doi.org/10.1080/00986445.2022.2053680>
11. N. T. H. Anh, T. P. Trinh, L. Van Tan, N. T. M. Tho and N. Van Cuong, *Vietnam J. Chem.* 60 (2022) 198–205. <https://doi.org/10.1002/vjch.202100126>
12. Y. Ren, Y. Chen, M. Sun, H. Peng and K. Huang, *Sep. Sci. Technol.*, (2014), 49, 2049–2059. <https://doi.org/10.1080/01496395.2014.903972>
13. F.O Afolabi, P. Musonge and B.F. Bakare, *Sustainability* (2022), 14, 10860. <https://doi.org/10.3390/su141710860>
14. H. V. Thi, D. Le Thi, T. N. T. Thanh, H. Do Thi, H. N. Manh, H. V. T. Minh and B. B. Hoang, *Vietnam J. Catal. Adsorpt.* 11 (2022) 76–82. <https://doi.org/10.51316/jca.2022.032>