

TỔNG HỢP VẬT LIỆU HYDROGEL/CELLULOSE VÀ KHẢO SÁT KHẢ NĂNG XỬ LÝ ION KIM LOẠI NẶNG CROM (VI)

SYNTHESIS OF HYDROGEL/CELLULOSE MATERIAL AND EXAMINATION OF ITS ABILITY FOR CHROMIUM (VI) HEAVY METAL ION ADSORPTION

Trương Thị Thủy

Phòng Khoa học công nghệ, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 20/05/2021, chấp nhận đăng ngày 15/06/2021

Tóm tắt: Trong nghiên cứu này vật liệu hydrogel (VLHG) được tổng hợp thành công từ xenlulozo với các chất liên kết hóa học là axit acrylic (AA), amoni persulfate (APS) và N,N' - methylenebisacryamide (MBA). Một số tính chất vật lý và hoá học của VLHG như phổ hồng ngoại FTIR, SEM và độ ngậm nước cho thấy VLHG có độ bền cơ học và tính ngậm nước tương đối cao. Cùng với đó, các khảo sát về ảnh hưởng của pH, thời gian, khối lượng vật liệu và nồng độ đầu vào cũng được tiến hành với ion kim loại nặng crom (VI) để tìm ra các thông số tối ưu. Kết quả nghiên cứu cho thấy vật liệu hydrogel này có khả năng hấp phụ ion kim loại nặng crom (VI) trong nước với hiệu suất khoảng 82% trong các điều kiện tối ưu là pH = 2, thời gian xử lý tối ưu là 120 phút, nồng độ đầu vào là 10 mg/lít và khối lượng VLHG cần dùng là 0,2 gam.

Từ khóa: xenlulozo, ion KLN crom (VI), vật liệu hydrogel, hấp phụ.

Abstract: In this study, hydrogel material (HGM) was successfully synthesized from cellulose and chemical linkers including acrylic acid (AA), ammonium persulfate (APS) and N,N'-methylenebisacryamide (MBA). Physical and chemical properties of HGM, including Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscopy (SEM) and hydration rate, show high physical durability and great hydration properties. In addition, examinations on impact of pH, time, weight of material and initial concentrations are also conducted with chromium (VI) for the investigation of optimal conditions. The study shows that HGM can adsorb chromium (VI) in water with 82 percent efficiency with the optimal conditions of pH = 2, 120 mins, initial concentration = 10 mg/l from 0.2 g HGM.

Keywords: cellulose, chromium (VI) heavy metal ion, hydrogel material, adsorption.

1. GIỚI THIỆU

Ngày nay, song song với quá trình đô thị hóa là sự phát triển của các ngành công nghiệp nói chung và công nghiệp nặng nói riêng như: luyện kim, khai thác, hóa chất, thực phẩm, tiêu dùng, dệt nhuộm, xi mạ... Tuy nhiên, vấn đề đặt ra ở đây là phần lớn nước thải của các ngành công nghiệp chứa hàm lượng kim loại

khá cao và hầu như chưa được xử lý triệt để trước khi thải ra môi trường. Trong đó, mạ crom thải ra một lượng lớn nước thải, mà trong thành phần nước thải có chứa kim loại nặng là crom. Trong quá trình lao động nếu tiếp xúc với crom hoặc hợp chất crom thì sẽ gây các bệnh như loét da, loét, thủng vách ngăn mũi, viêm da tiếp xúc, chàm tiếp

Hiện nay, có nhiều nghiên cứu với các phương pháp khác nhau nhằm loại bỏ kim loại nặng ra khỏi nước thải đã được nghiên cứu đạt hiệu quả cao và vật liệu hấp phụ sinh học composite được ứng dụng phổ biến bởi những tính chất có lợi cho việc xử lý kim loại nặng [1, 2, 3]. Chính vì vậy, một số nghiên cứu được thực hiện để tạo ra loại vật liệu thân thiện với môi trường, dễ thu hồi, có khả năng tái sử dụng và rẻ tiền [4, 5, 6]. Một trong những vật liệu nhiều triển vọng đang được nghiên cứu hiện nay là vật liệu hydrogel (VLHG). VLHG là một vật liệu có cấu trúc mạng lưới ba chiều, có thể được hình thành bởi các liên kết ngang của các chuỗi polymer. Các liên kết ngang của các polymer là một kết quả của liên kết cộng hóa trị, hydro, lực Van der Waals hoặc tương tác vật lý. Một số nhà nghiên cứu cho rằng VLHG là vật liệu có các

Trong nghiên cứu này, xenlulozo được sử dụng làm vật liệu tổng hợp vật liệu hydrogel để hấp phụ ion kim loại nặng crom (VI). Việc nghiên cứu này sẽ góp phần làm giảm thiểu ô nhiễm môi trường tạo thành vật liệu hydrogel để xử lý các ion kim loại nặng [4]. Là cơ sở để nghiên cứu phát triển tạo các loại vật liệu hydrogel có tính năng vượt trội hơn để ứng dụng trong các khía cạnh môi trường khác nhau.

2.1. Phương pháp tạo vật liệu hydrogel

TẠP CHÍ KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ . SỐ 32 - 2022

2.2. Một số tính chất vật liệu hydrogel – xenlulozo

2.2.1. Độ ngậm nước của vật liệu hydrogel - xenlulozo

Ngâm hydrogel vừa cân vào nước và xác định lại khối lượng của hydrogel sau những khoảng thời gian xác định trong vòng 15 giờ. Độ ngậm nước được xác định bằng công thức sau:

$$\text{EWC (\%)} = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100\%$$

Trong đó:

EWC: độ ngậm nước của vật liệu hydrogel (%);

m: khối lượng của vật liệu hydrogel sau một khoảng thời gian (g);

m_0 : khối lượng ban đầu của vật liệu hydrogel (g).

2.2.2. Quét SEM bằng kính hiển vi điện tử

Phổ hồng ngoại giúp xác định các dao động đặc trưng của các liên kết hoặc các nhóm chức có mặt trong một phân tử. Ưu điểm của phương pháp SEM là có thể thu được bức ảnh ba chiều rõ nét và không đòi hỏi khâu chuẩn bị mẫu quá phức tạp. Xenlulozo, hydrogel sau khi chế tạo được đo bằng phổ FTIR tại Phòng thí nghiệm Kỹ thuật vật liệu bền vững sinh học và môi trường Biosustainable, Khoa học và kỹ thuật vật liệu, Trường Đại học Công nghệ Nagaoka, Nhật Bản.

2.2.3. Xác định nhóm chức bằng phổ hồng ngoại IR

Kính hiển vi điện tử quét là thiết bị dùng để phân tích cấu trúc bề mặt vật rắn bằng cách sử dụng chùm điện tử hện quét trên bề mặt mẫu. Vật liệu hydrogel-xenlulozo được chụp ảnh SEM để xác định cấu trúc bề mặt của vật liệu tại Phòng thí nghiệm Kỹ thuật vật liệu bền vững sinh học và môi trường Biosustainable, Khoa học và Kỹ thuật vật liệu, Trường

Đại học Công nghệ Nagaoka, Nhật Bản.

2.3. Khảo sát khả năng xử lý Crom(VI) của hydrogel- cellulose

Dùng dung dịch crom chuẩn gốc 1000 mg/l pha loãng thành dung dịch có nồng độ lần lượt là 0.1 mg/l, 0.2 mg/l, 0.4 mg/l, 0.6 mg/l, 0.8 mg/l, 1.0 mg/l. Các mẫu dung dịch sau khi pha loãng tiến hành xác định nồng độ crom (VI) bằng phương pháp so màu với bước sóng 540 nm, bề dày cuvet 1 cm, sử dụng máy quang phổ UV-VIS. Dựa vào kết quả phân tích bằng máy UV-VIS ta có thể dựng đường chuẩn, trên cơ sở đường chuẩn này cho phép xác định nồng độ crom (VI) bất kỳ trong dung dịch.

2.3.1. Khảo sát ảnh hưởng của pH đến khả năng hấp phụ của VLHG- xenlulozo

Chuẩn bị 6 bình đựng mẫu (erlen 250 ml), đánh số từ 2-12 tương ứng với pH từ 2-12. Cho vào mỗi bình 20 ml dung dịch crom (VI) có nồng độ $C_0 = 10$ mg/l đã được giữ ổn định bằng HCl và NaOH có pH lần lượt là 2, 4, 6, 8, 10, 12 sau đó cho 0.2 g VLHG- xenlulozo vào mỗi bình. Tiến hành lắc trong 120 phút với tốc độ 180 vòng/phút (tốc độ lắc này được giữ ổn định trong các thí nghiệm khảo sát tiếp theo) ở nhiệt độ phòng. Sau đó, lọc lấy vật liệu hấp phụ ra khỏi dung dịch crom (VI), dung dịch sau lọc được xác định nồng độ sau xử lý bằng phương pháp đo quang ở bước sóng 540 nm (đo nồng độ trước và sau xử lý để có hiệu suất chính xác nhất).

2.3.2. Khảo sát ảnh hưởng của thời gian đến khả năng hấp phụ của VLHG- xenlulozo

Chuẩn bị 6 bình đựng mẫu (erlen 250 ml), đánh số từ 1-6 ứng với 30-180 phút thời gian khảo sát. Cho vào mỗi bình 20 ml dung dịch crom (VI) có nồng độ $C_0 = 10$ mg/l, sau đó cho vào mỗi bình 0.2 g VLHG- xenlulozo. Các dung dịch được giữ ổn định ở pH = 2 (pH tối

ưu được xác định ở thí nghiệm trước) đem lắc ở máy lắc trong các thời gian 30, 60, 90, 120, 150, 180 phút với tốc độ 180 vòng/phút. Sau đó, lọc lấy vật liệu hấp phụ ra khỏi dung dịch crom (VI), dung dịch sau lọc được xác định nồng độ sau xử lý bằng phương pháp đo quang ở bước sóng 540 nm.

2.3.3. Khảo sát ảnh hưởng của khối lượng VLHG đến khả năng hấp phụ của VLHG - xenlulozo

Chuẩn bị 6 bình đựng mẫu (erlen 250ml), đánh số từ 1-6 ứng với số g VLHG- xenlulozo khảo sát. Cho lần lượt 0.1 g, 0.15 g, 0.2 g, 0.25 g, 0.3 g, 0.35 g VLHG- xenlulozo vào các bình đựng 20 ml dung dịch crom (VI) nồng độ $C_0 = 10$ mg/lít. Các dung dịch này được giữ ổn định ở pH = 2. Tiến hành lắc trong 120 phút với tốc độ 180 vòng/phút. Sau đó, lọc lấy vật liệu hấp phụ ra khỏi dung dịch crom (VI), dung dịch sau lọc được xác định nồng độ sau xử lý bằng phương pháp đo quang ở bước sóng 540 nm.

2.3.4. Khảo sát ảnh hưởng của nồng độ ban đầu C_0 đến khả năng hấp phụ của VLHG - xenlulozo

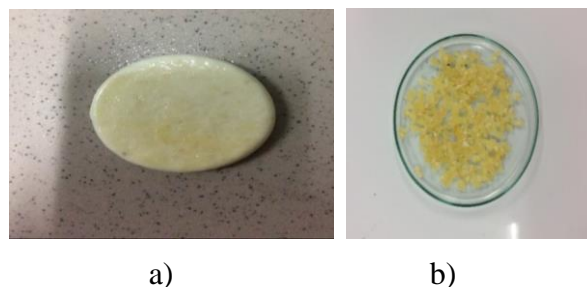
Chuẩn bị 6 bình đựng mẫu (erlen 250 ml), đánh số từ 1-6 ứng với nồng độ crom (VI) đầu vào khảo sát. Cho vào mỗi bình đựng mẫu 0.2 g VLHG-xenlulozo rồi cho tiếp 20 ml crom (VI) với nồng độ ban đầu lần lượt là 5, 10, 20, 30, 40, 50 mg/l. Các dung dịch trên được giữ ổn định ở pH = 2. Tiến hành lắc trong 120 phút với tốc độ 180 vòng/phút. Sau đó, lọc lấy vật liệu hấp phụ ra khỏi dung dịch crom (VI), dung dịch sau lọc được xác định nồng độ sau xử lý bằng phương pháp đo quang ở bước sóng 540 nm.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Vật liệu hydrogel- xenlulozo

Hình 1 thể hiện VLHG-xenlulozo sau khi tổng

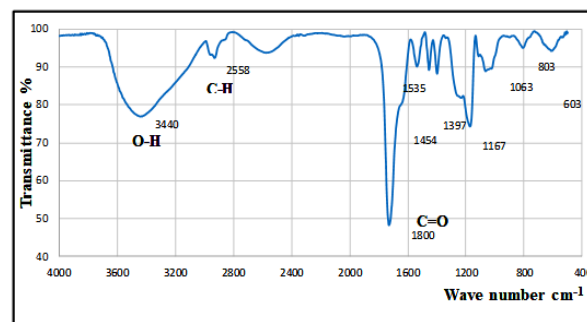
hợp. Lúc đầu, vật liệu tạo thành (hình 1a) có màu trắng đục, còn ẩm; sau khi đem sấy khô vật liệu có màu hơi ngả vàng (hình 2b). Vật liệu cần được cắt nhỏ để tăng diện tích tiếp xúc với dung dịch ion kim loại nặng crom (VI), với tiết diện khoảng 1-3 mm².



Hình 1. Vật liệu Hydrogel- xenlulozo (a) trước và (b) sau khi sấy

3.1.1. Phân tích phổ FTIR của vật liệu hydrogel - xenlulozo

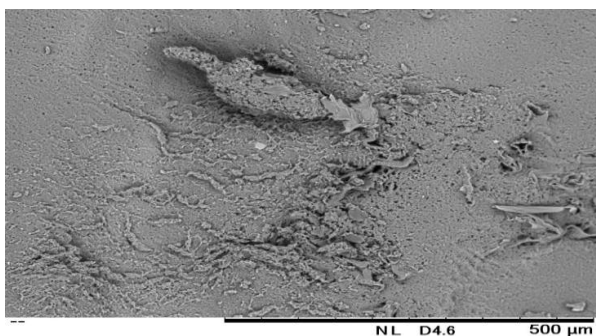
Hình 2 là phổ FTIR của vật liệu hydrogel-xenlulozo kết hợp với các chất tham gia trong quá trình đồng trùng hợp vật liệu hydrogel-xenlulozo. Nhìn vào hình 2 ta nhận thấy có các peak nổi bật sau: bên cạnh việc giữ lại liên kết O-H và C-H có trong phân tử xenlulozo thì việc thêm các chất liên kết đã làm xuất hiện thêm các nhóm chức ở các bước sóng khác nhau. Các liên kết đôi C=C (CH₂=CH- có trong AA) ở peak 1454 cm⁻¹ và C=O xuất hiện ở peak 1800 cm⁻¹ là dấu hiệu sự có mặt của nhóm O-H và liên kết C=O trong chuỗi liên kết của gốc -COOH, còn tại các peak như 1535, 1397, 1167, 1063, 803, 603 cm⁻¹ đã cho thấy sự có mặt của các liên kết như C-O, C-C, C-N.



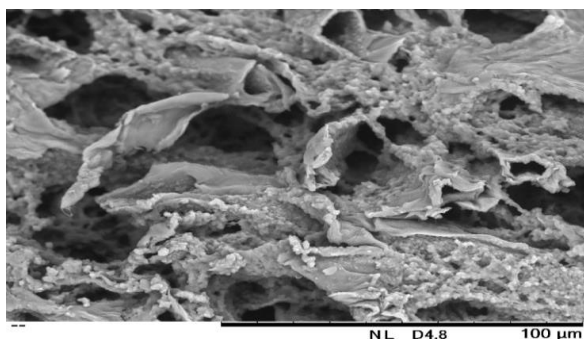
Hình 2. Phổ FTIR của hydrogel

3.1.2. Phân tích cấu trúc bề mặt của vật liệu bằng SEM

Hình 3 cho thấy bề mặt của vật liệu hydrogel-xenlulozo có nhiều vùng cấu trúc gồ ghề, thể hiện tính cứng của vật liệu, bên cạnh đó kết quả cũng cho thấy số lỗ rỗng trên bề mặt khá nhiều, xếp khít vào nhau. Hình chụp của bề mặt hydrogel-xenlulozo cho thấy khoảng cách giữa các rãnh rỗng khá đều và rộng, mỗi rãnh có đường kính khoảng 320 μm , vành mỗi rãnh rộng khoảng 210 μm , trong khi đó, mỗi liên kết O-H trong phân tử H_2O có đường kính khoảng 2.75 \AA , tương đương $2.75 \times 10^{-4} \mu\text{m}$. Với đường kính mỗi rãnh của hydrogel to gấp 1 triệu lần đường kính của nước, phân tử nước có thể ra vào một cách dễ dàng, thể hiện tính ưa nước của vật liệu. Kim loại crom có đường kính khoảng 280 pm (với $1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$, theo thực nghiệm, J.C. Slater, 1964) cũng sẽ dễ bị giữ lại tại các lỗ rỗng.



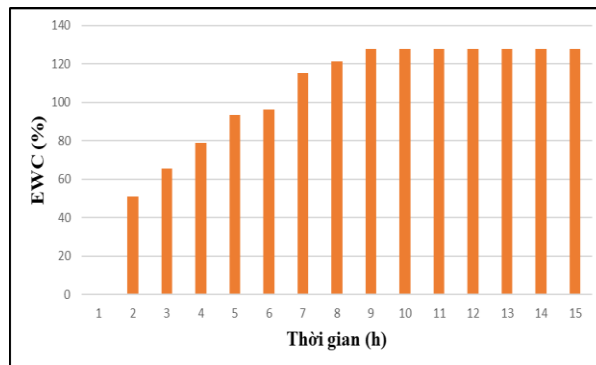
(a)



(b)

Hình 3. Hình ảnh chụp SEM bề mặt cắt dọc của vật liệu hydrogel- xenlulozo độ phóng đại x200 (A), x500 (B)

3.1.3. Độ ngậm nước của vật liệu



Hình 4. Độ ngậm nước của vật liệu hydrogel-xenlulozo theo thời gian

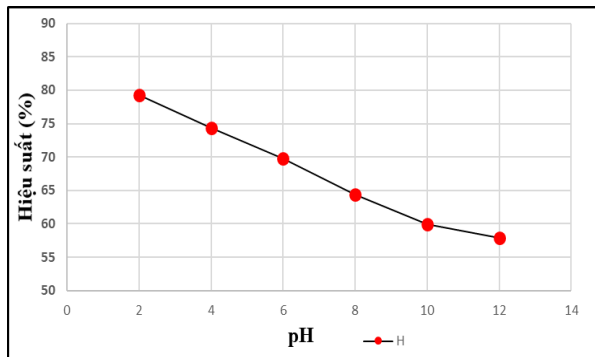
Qua hình 4 ta thấy rằng khả năng ngậm nước của vật liệu hydrogel-xenlulozo tăng nhanh trong khoảng thời gian từ 1 giờ đến 9 giờ; đạt 127.68% tại 9 giờ. Sau đó vật liệu ngậm nước chậm hơn chỉ đạt 127.82% tại giờ thứ 15 chỉ tăng khoảng 0.14%. Kể từ giờ thứ 9 vật liệu gần như bão hòa nên khả năng nhận thêm nước chỉ đạt thêm khoảng 1-2%. Kết quả cho thấy VLHG-xenlulozo có độ ngậm nước tương đối cao và có tính cơ học ổn định với trạng thái gần như bão hòa tại giờ thứ 9 với hiệu suất 127%.

3.2. Khả năng xử lý crom (VI) của vật liệu hydrogel-xenlulozo trên mô hình tĩnh

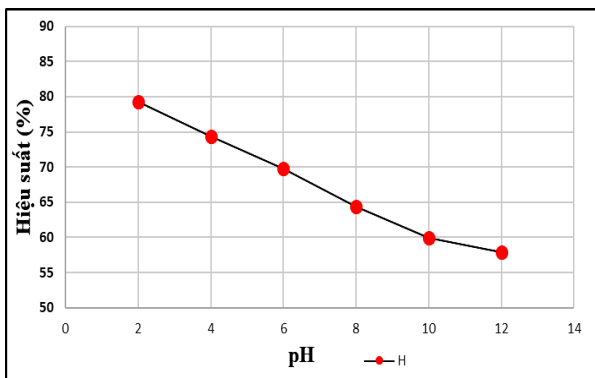
3.2.1. Ảnh hưởng của pH đến hiệu quả xử lý

Từ kết quả thu được ở hình 5 và hình 6 ta thấy khi pH tăng từ 2 đến 12 thì hiệu suất hấp phụ của VLHG giảm dần (79.29% xuống 57.91%), do trong khoảng pH thấp bề mặt của VLHG-xenlulozo sẽ tích điện dương do trong môi trường axit, khi giá trị pH tăng lên, nồng độ ion OH^- cũng sẽ tăng dần theo, trong dung dịch lúc này sẽ xảy ra cạnh tranh hấp phụ của ion crom (VI) mang điện tích âm và ion OH^- . Mặt khác giá trị năng lượng tự do quá trình hấp phụ các dạng tồn tại của ion Cr(VI) (HCrO_4^- , CrO_4^{2-}), tại các giá trị pH khác nhau là khác nhau. Trong khoảng 1-5, crom (VI)

tồn tại chủ yếu ở dạng HCrO_4^- sau đó chuyển dần sang dạng CrO_4^{2-} khi pH tăng lên. Do đó, sự hấp phụ các ion crom (VI) khi ở pH thấp chủ yếu hấp phụ ở dạng HCrO_4^- . Trong môi trường pH thấp, bề mặt của VLHG bị proton hóa dẫn đến tích điện dương, trong khi dạng tồn tại crom (VI) chủ yếu là các anion HCrO_4^- do đó xảy ra lực hấp dẫn tĩnh điện giữa bề mặt chất hấp phụ và chất bị hấp phụ. Khi pH tăng lên thì sự có mặt của ion OH^- gây ra tương tác tĩnh điện đẩy chúng với các ion cromat và đicromat, làm cản trở quá trình hấp phụ các anion này lên bề mặt VLHG-xenlulozo. Với pH bằng 2 sẽ cho hiệu suất cao nhất là 79,29%. Tương tự như sự thay đổi của hiệu suất, dựa vào kết quả từ thực nghiệm, hình 6 cho thấy dung lượng hấp phụ của vật liệu giảm dần trong khoảng từ pH 2-12 (từ 0,75 mg/g xuống 0,64 mg/g). Kết hợp với kết quả hiệu suất xử lý thu được, chọn pH=2 là pH tối ưu của quá trình hấp phụ.

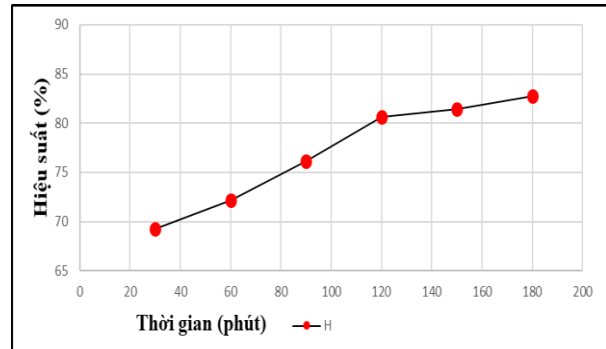


Hình 5. Ảnh hưởng của pH đến hiệu suất xử lý

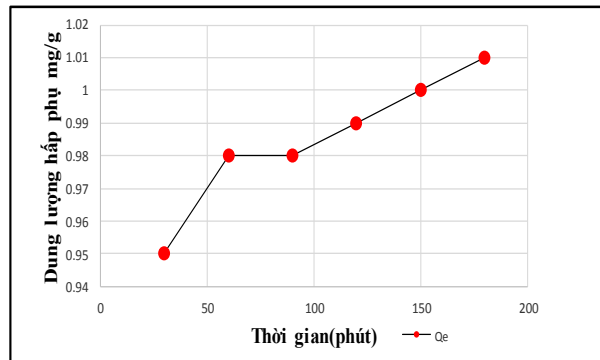


Hình 6. Ảnh hưởng của pH đến dung lượng hấp phụ

3.2.2. Ảnh hưởng của thời gian đến hiệu quả xử lý



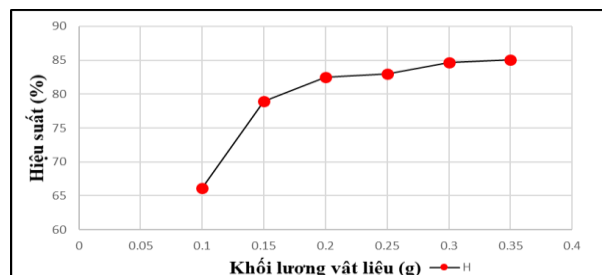
Hình 7. Ảnh hưởng của thời gian đến hiệu suất hấp phụ



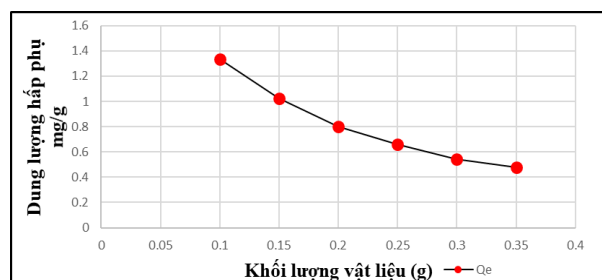
Hình 8. Ảnh hưởng của thời gian đến dung lượng hấp phụ

Thời gian cũng là một trong những yếu tố ảnh hưởng đến khả năng loại bỏ kim loại nặng Crom (VI) trong dung dịch nước thải của vật liệu hấp phụ. Theo hình 3.7 và 3.8 cho thấy, khi thay đổi thời gian khảo sát từ 30-180 phút thì hiệu suất và dung lượng hấp phụ tăng nhanh trong khoảng thời gian từ 30-120 phút; với hiệu suất tăng từ 69,28% đến 80,66%, tăng khoảng 11,38% còn dung lượng tăng từ 0,95 lên 0,99 tăng khoảng 0,04 mg/g. Sau đó từ 120-180 phút hiệu suất và dung lượng tiếp tục tăng nhưng chỉ tăng chậm do chúng đã bão hòa và đi vào ổn định; trong khoảng thời gian này hiệu suất và dung lượng chỉ tăng nhẹ, với hiệu suất tăng khoảng 3% còn dung lượng chỉ tăng 0,02 mg/g. Do đó, 120 phút là thời gian tối ưu sự hấp phụ của VLHG- xenlulozo.

3.2.3. Ảnh hưởng của khối lượng vật liệu hydrogel đến hiệu quả xử lý



Hình 9. Ảnh hưởng của khối lượng vật liệu đến hiệu suất hấp phụ



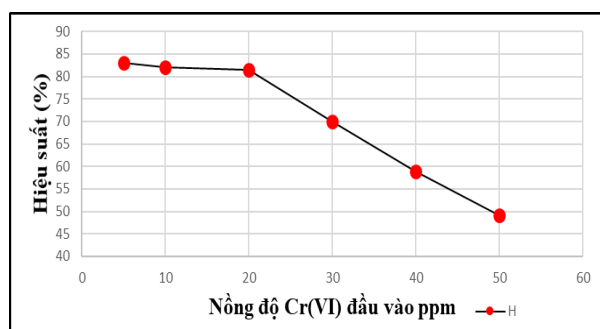
Hình 10. Ảnh hưởng của khối lượng vật liệu đến hiệu suất hấp phụ

Qua kết quả ở hình 9 và 10 cho thấy, khi khối lượng tăng lên thì hiệu suất hấp phụ sẽ tăng theo, tuy nhiên dung lượng hấp phụ sẽ giảm. Hiệu suất hấp phụ tăng là do khi khối lượng tăng sẽ tăng diện tích bề mặt tiếp xúc, tăng số lượng các vị trí trung tâm hấp phụ; điều này cũng đồng nghĩa khối lượng ion kim loại nặng crom (VI) bị hấp phụ trên một đơn vị trọng lượng của VLHG-xenlulozo sẽ giảm. Ta thấy rằng hiệu suất tăng liên tục từ 0.1 g lên đến 0.2 g; khi sử dụng 0.1 g hiệu suất khoảng 66.16% và hiệu suất sẽ tăng thêm khoảng 16% đạt 82.47% khi sử dụng 0.2 g. Sau đó từ 0.2 g đến 0.35 g hiệu suất cũng tăng nhưng chỉ tăng chậm, chỉ tăng thêm khoảng 3% khi lượng VLHG- xenlulozo tăng thêm đến 0.15 g, do đó chọn khối lượng 0.2 g là khối lượng tối ưu để làm nghiên cứu.

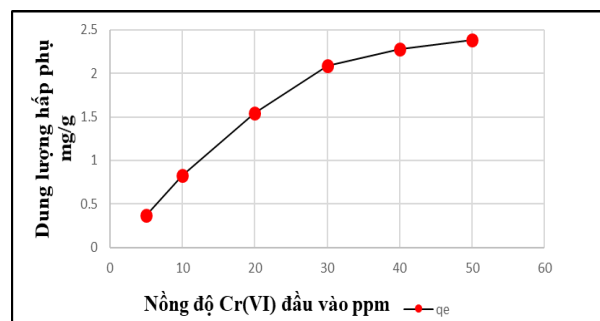
3.2.4. Ảnh hưởng của nồng độ đầu vào - phương trình đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của nồng độ đến

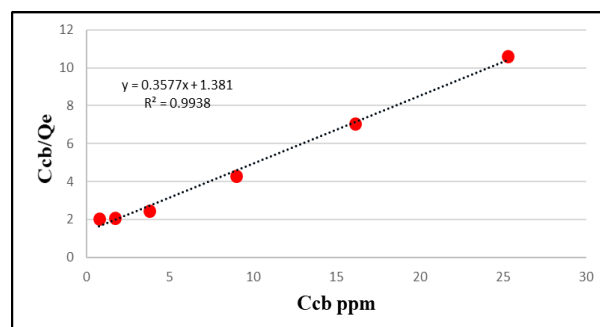
khả năng hấp phụ của vật liệu được thể hiện qua hình 11 và 12. Từ kết quả thu được từ thực nghiệm, ta thấy tại nồng độ $C_0=10$ mg/l, vật liệu có khả năng xử lý tốt ($H=82.66\%$, $Q_e=0.83$ mg/g), tuy nhiên nồng độ càng cao, hiệu suất xử lý càng giảm, trong khi dung lượng hấp phụ ngày càng tăng, tăng đến giai đoạn gần như tối đa, dung lượng bắt đầu giảm nhẹ do vật liệu đã bão hòa, các lỗ xốp đã được lấp đầy.



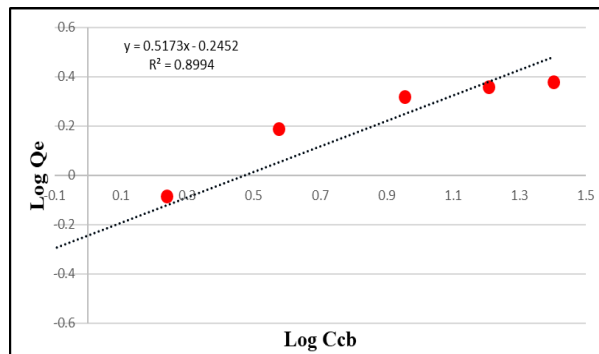
Hình 11. Ảnh hưởng của nồng độ crom (VI) đến hiệu suất hấp phụ của vật liệu hydrogel- xenlulozo



Hình 12. Ảnh hưởng của nồng độ crom (VI) đến hiệu suất hấp phụ của vật liệu hydrogel-xenlulozo

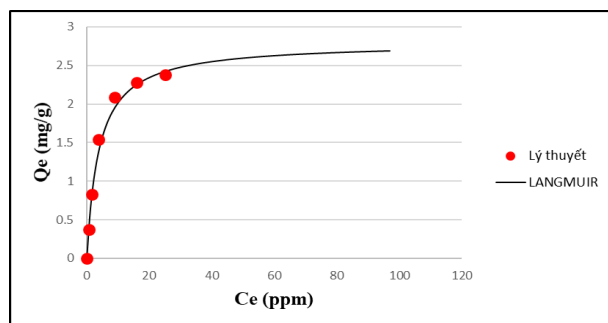


Hình 3.13. Đường đẳng nhiệt hấp phụ theo mô hình Langmuir



Hình 14. Đường đẳng nhiệt hấp phụ theo mô hình Freundlich

Từ kết quả thu được đã tính được dung lượng hấp phụ cực đại và hằng số Langmuir ở hình 15.



Hình 3.15. Đường đẳng nhiệt hấp phụ theo mô hình Langmuir

Việc khảo sát đường đẳng nhiệt hấp phụ được thực hiện và các tham số của 2 mô hình động

học được thể hiện như trên. Các khảo sát và tính toán cho thấy hệ số tương quan thu được ở mô hình Langmuir ($R^2=0.9938$) cao hơn hệ số tương quan ở mô hình Freundlich ($R^2=0.8994$), điều này chứng tỏ mô hình đẳng nhiệt Langmuir phù hợp hơn với kết quả thí nghiệm hiện tại của vật liệu hydrogel-xenlulozo. Hấp phụ tương ứng là loại hấp phụ hóa học, đơn lớp. Dựa vào phương trình động học hấp phụ Langmuir thu được, suy ra dung lượng hấp phụ cực đại Q_{\max} là 2.80 mg/g, với hệ số K tương ứng là 0,26.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, tổng hợp thành công vật liệu hydrogel (VLHG) từ xenlulozo và khảo sát được một số các tính chất của vật liệu hydrogel-xenlulozo qua các phương pháp: xác định độ ngậm nước, quét SEM bằng kính hiển vi điện tử, phổ FTIR. Xác định được các thông số tối ưu trên mô hình tĩnh: pH=2, $m_{VLHG}=0,2$ g, thời gian 120 phút, nồng độ ion KLN crom (VI)=10 mg/l cho hiệu suất khoảng 82,67% cho thấy vật liệu này có khả năng xử lý, làm giảm tải ô nhiễm các nguồn nước thải có ion kim loại Cr^{6+} .

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Văn Cát, Hấp phụ và trao đổi ion trong xử lý nước và nước thải, NXB Thống kê, Hà Nội, (2002).
- [2] Mai Quang Khuê, Nghiên cứu hấp phụ Cr (VI) của vật liệu chế tạo từ bã chè và ứng dụng xử lý nước thải mạ điện (2015).
- [3] Nguyễn Trung Hiệp, Nghiên cứu tổng hợp và khảo sát khả năng xử lý kim loại nặng của sợi cellulose acetate/zeolite (CA/Ze), Trường Đại học Khoa học tự nhiên, TP Hồ Chí Minh (2017).
- [4] Diana Ciolacu, Florin Ciolacu, Valentin i. Popa, Amorphous cellulose - structure and characterization. Petru poni institute of macromolecular chemistry iasi, Romania. Gheorghe asachi technical university iasi, Romania (2010).
- [5] A.M. Mathur, K.F. Hammonds, J. Klier, A.B.J. Scranton, "Equilibrium swelling of poly(methacrylic acid-g-ethylene glycol) hydrogels: Effect of swelling medium and synthesis conditions", Control. Release, 54, p. 177- 184 (1998).
- [6] Guiyin Zhou, Jinming Luo, Chengbin Liu, Lin Chu, John Crittenden, Efficient heavy metal removal from industrial melting effluent using fixed-bed process based on porous hydrogel adsorbents, Water Research, vol. 131, pp. 246 - 254 (2017).

- [7] Jayabrata Mait, Samit Kumar Ray, Enhanced adsorption of Cr(VI) from water by guar gum based composite hydrogels, International Journal of Biological Macromolecules (2016).
- [8] K. Pal, A.K. Banthia, D.K. Majumdar, Polymeric Hydrogels: Characterization and Biomedical Application – A mini review Designed Monomers and Polymers12, p. 197 - 220, (2009).
- [9] Parisa Mohammadzadeh Pakdel, Seyed Jamaledin Peighambaroust, A review on acrylic based hydrogels and their applications in wastewater treatment, Journal of Environmental Management, vol. 217, pp. 123 - 143, (2018).
- [10] S. Nurettin, Hydrogels of Versatile Size and Architecture for Effective Environmental Applications, Turk J Chem., 32, p. 113-123, (2008).
- [11] Javier Banquy, Fernando Suarez, Anteneh Argaw, "Effect of mechanical properties of hydrogel nanoparticles on macrophage cell Uptake", Soft Matter, 5, 3984-3991, (2009).

Thông tin liên hệ: **Trương Thị Thủy**

Điện thoại: 0913301931 - Email: ttthuy@uneti.edu.vn

Phòng Khoa học Công nghệ, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.

