

HẤP PHỤ Cr(VI) TRONG MÔI TRƯỜNG NƯỚC BẰNG VẬT LIỆU HẤP PHỤ BÃ CHÈ BIẾN TÍNH KOH

Đỗ Trà Hương^{1*}, Đặng Văn Thành², Mai Quang Khuê^{1,3}, Nguyễn Thị Kim Ngân⁴

¹Trường Đại học Sư phạm - Đại học Thái Nguyên

²Trường Đại học Y dược - Đại học Thái Nguyên

³Trường THPT Chiêm Hóa, Tuyên Quang

⁴Trường Đại học Khoa học - Đại học Thái Nguyên

Đến Tòa soạn 26-3-2015; Chấp nhận đăng 19-02-2016

Abstract

The KOH-modified tea residue (KTR) was used as a adsorbent to remove efficiently Cr(VI) from aqueous solution. Scanning electron microscopy (SEM) images of KTR reveal a highly porous surface structure of the adsorbent. The adsorption properties for Cr(VI) of KTR were investigated by batch method. The influence of pH (1–8), contact time (30-180 min), and the amount of adsorbent (0.01-0.05 g) on Cr(VI) removal efficiency by the KTR were also determined. The results show that the time to reach adsorption equilibrium, the optimal pH value, and mass of adsorbent are 150 min, 1.0, and 0.15 g, respectively. The maximum monolayer adsorption capacity of KTR is 52,083 mg/g. KTR acts as a promising adsorbent for the removal of heavy metal ions from aqueous solution.

Keywords. Adsorption, tea waste residue, Langmuir isotherm, heavy metals, alkali treated tea residue.

1. MỞ ĐẦU

Crom có đặc tính lý học (bền ở nhiệt độ cao, khó oxi hoá, cứng và tạo màu tốt...) nên thường được sử dụng rộng rãi trong các ngành sản xuất pin, mạ điện, sản xuất dệt nhuộm. Do đặc thù sản xuất, các ngành công nghiệp này tiêu thụ một lượng rất lớn nước và cũng tạo ra một lượng nước thải công nghiệp chứa các ion kim loại nặng đều cao hơn nhiều lần so với tiêu chuẩn cho phép [1-7]. Đây là nguyên nhân gây ô nhiễm các nguồn tiếp cận: nước mặt, nước ngầm, hệ thống xử lý nước thải dẫn đến tích tụ sinh học, ảnh hưởng tới sức khỏe cộng đồng. Do pH trong nước thải có sự dao động rất rộng nên ảnh hưởng đến khả năng hòa tan kim loại và luôn có sự biến động về nồng độ kim loại nặng dẫn đến những khó khăn cho quá trình xử lý [5-7]. Các kết quả nghiên cứu đã cho thấy Cr (VI) có mặt trong các ion kim loại nặng đóng góp rất lớn trong các nguồn ô nhiễm trên. Trong thực tế, Cr(VI) chỉ với một lượng nhỏ cũng là nguyên nhân chính ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe con người. Vì vậy, xử lý nước thải có chứa Cr(VI) từ các quá trình sản xuất trước khi thải chúng ra môi trường là vấn đề cấp thiết không chỉ trong nghiên cứu khoa học mà cả trong sản xuất công nghiệp. Nhìn chung, để xử lý, tách loại kim loại nặng nói chung và Cr(VI) trong nước thải nói riêng, các phương pháp sau hay được sử dụng: phương

pháp kết tủa, phương pháp trao đổi ion, phương pháp hấp phụ.... Gần đây, sử dụng các vật liệu tái chế từ phụ phẩm nông nghiệp hoặc các chất thải tái chế có khả năng hấp phụ đã và đang được sử dụng rất nhiều cho các xử lý hấp phụ kim loại nặng trong nước [3, 5]. Theo hướng này, sử dụng bã chè tái chế làm vật liệu hấp phụ đã cho thấy khá hiệu quả và rất khả thi do nguồn vật liệu hấp phụ

đa dạng, phong phú, chế tạo đơn giản [1, 2]. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu sự hấp phụ của Cr(VI), trong môi trường nước bằng vật liệu hấp phụ bã chè biến tính kiềm.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Hóa chất

KOH, $K_2Cr_2O_7$, NH_3 25 %, H_3PO_4 85 %, Br_2 bão hòa, H_2SO_4 , 1,5-diphenylcarbazide, nước cất hai lần. Tất cả hóa chất đều có độ tinh khiết PA.

2.2. Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm

2.2.1. Chế tạo vật liệu hấp phụ bã chè biến tính kiềm (VLHP)

Bã chè sau khi thu thập từ các hộ gia đình, các quán nước được rửa sạch với nước máy và nước cất

nhiều lần để loại bỏ tất cả các các hạt bụi bẩn, sau đó được đun sôi nhiều lần để loại bỏ cafein, tanin. Tiếp tục rửa sạch bằng nước cất đến khi nước rửa không có màu. Sau đó bã chè này được ngâm trong KOH 0,5 M với thời gian là 0,5 giờ, để thủy phân protein, tiếp theo được rửa sạch bằng nước cất đến môi trường trung tính và sấy khô trong 12 giờ ở 95 °C. Sau đó vật liệu được nghiền, rây đến kích thước khoảng 180-300 µm và bảo quản trong bình hút ẩm [7]. Vật liệu này được kí hiệu là VLHP được sử dụng cho các phép đo khảo sát đặc điểm bề mặt, tính chất vật lý và nghiên cứu sự hấp phụ Cr(VI) trong môi trường nước.

2.2.2. Khảo sát tính chất tính chất vật lý, đặc điểm bề mặt của VLHP

Hình thái học của VLHP được khảo sát bằng kính hiển vi điện tử quét JEOL JSM-6500F hoạt động tại điện thế tại 15 kV. Phép đo trên được tiến hành tại khoa Khoa học và Kỹ thuật Vật liệu, Đại học giao thông quốc gia Đà Loan. Các nhóm chức bề mặt của VLHP được phân tích bằng phổ hồng ngoại IR trên máy Impact-410 (Đức). Viện Hoá học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

2.2.3. Nghiên cứu hấp phụ Cr(VI) của VLHP bằng phương pháp hấp phụ mở

Khảo sát ảnh hưởng của thời gian

Cho vào mỗi bình tam giác (dung tích 100 ml) 0,15 g VLHP và 25 ml dung dịch Cr(VI) có nồng độ đầu là 52,683 mg/L. Đem lắc đều trên máy lắc trong các thời gian 30, 60, 90, 120, 150, 180 phút; ở nhiệt độ phòng (~ 25°C) với tốc độ 200 vòng/phút. Làm lần lượt như thí nghiệm trên với các nồng độ là: 77,297 mg/L; 103,830 mg/L.

Khảo sát ảnh hưởng của pH

Cho vào mỗi bình tam giác (dung tích 100 ml) 0,15 g VLHP và 25 ml dung dịch Cr(VI) có nồng độ đầu là 100,087 mg/L đã được điều chỉnh pH bởi dung dịch HCl và NaOH có pH từ 1,02 đến 8,04. Tiến hành lắc trong 150 phút với tốc độ 200 vòng/phút, ở nhiệt độ phòng (~ 25 °C).

Khảo sát ảnh hưởng của khối lượng VLHP

Cân VLHP và cho vào bình tam giác có dung tích 100 ml với khối lượng lần lượt là: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 g VLHP, cho tiếp vào bình tam giác 25 ml dung dịch Cr(VI) với nồng độ 51,682 mg/L. Các hệ huyền phù trên được giữ ổn định ở pH = 1,0. Tiến hành lắc trong 150 phút với tốc độ 200 vòng/phút, ở nhiệt độ phòng (~ 25 °C).

*Khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ

Chuẩn bị 4 bình erlen có dung tích 100 ml, cho vào mỗi erlen 25ml dung dịch Cr(VI) với nồng độ 102,75 mg/L và pH là 1,0. Sử dụng máy khuấy từ gia nhiệt điều chỉnh nhiệt độ của mỗi bình tương ứng là 25, 35, 45, 55 °C (±1 °C); tiếp đó cho vào mỗi erlen 0,15 g VLHP, khuấy trong thời gian 150 phút, tốc độ khuấy 200 vòng/phút.

*Xử lý mẫu nước thải chứa Cr(VI) của Nhà máy Khóa Việt Tiệp

Các mẫu nước thải chứa Cr(VI) lấy tại nhà máy khóa Việt Tiệp. Nước thải được lấy và bảo quản theo đúng TCVN4574-88. Dụng cụ lấy mẫu: chai polyetylen sạch. Mẫu nước thải được ổn định bằng dung dịch H₂SO₄. Thực hiện sự hấp phụ ở nhiệt độ phòng (~ 25 °C), lấy 0,15 g VLHP cho vào bình tam giác 100 ml và thêm vào đó 25 ml nước thải có nồng độ Cr(VI) ban đầu là 64,575 mg/L, thời gian khuấy là 150 phút, điều chỉnh pH tối ưu là 1,0.

Nồng độ trước và sau khi hấp phụ của ion Cr(VI) trong dung dịch được xác định bằng phương pháp đo quang.

- Dung lượng hấp phụ tính theo công thức:

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

Trong đó: V là thể tích dung dịch (l). m là khối lượng chất hấp phụ (g), C₀ là nồng độ dung dịch ban đầu (mg/l), C_{cb} là nồng độ dung dịch khi đạt cân bằng hấp phụ (mg/l), q là dung lượng hấp phụ tại thời điểm cân bằng (mg/g).

- Dung lượng hấp phụ cực đại được xác định theo phương trình hấp phụ Langmuir dạng tuyến tính:

$$\frac{C_{cb}}{q} = \frac{1}{q_{\max}} \cdot C_{cb} + \frac{1}{q_{\max} \cdot b}$$

Trong đó: q_{max} là dung lượng hấp phụ cực đại (mg/g), b là hằng số Langmuir.

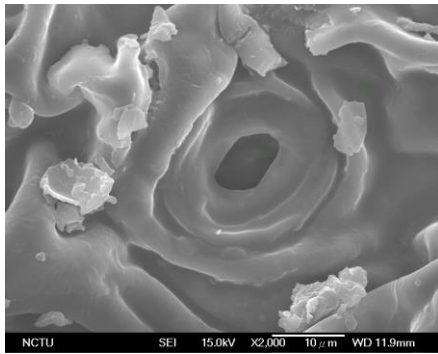
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả khảo sát đặc điểm bề mặt, tính chất vật lý của VLHP

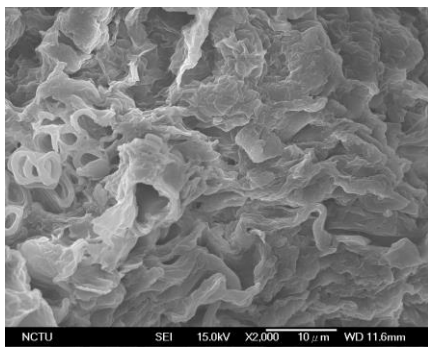
Hình 1 và 2 là kết quả chụp SEM của bã chè và VLHP.

Từ hình 1 và 2 nhận thấy, bã chè sau khi được hoạt hóa bằng KOH đã có hình thái học bề mặt thay đổi rõ rệt so với khi chưa hoạt hóa. Cụ thể, trước khi hoạt hóa, bã chè có cấu trúc chứa các mao quản với kích thước rất lớn, cỡ micron. Sau khi được hoạt hóa, các mao quản lớn này bị mất đi một phần, cùng sự phát triển mao quản dạng lớp, tạo nên nhiều

khoảng trống bề mặt trên bề mặt hơn dẫn đến tiềm năng ứng dụng làm chất hấp phụ tốt hơn [5, 7].



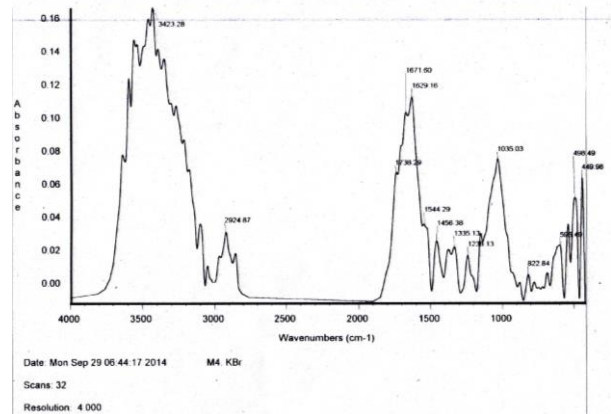
Hình 1: Hình thái học bề mặt của bã chè



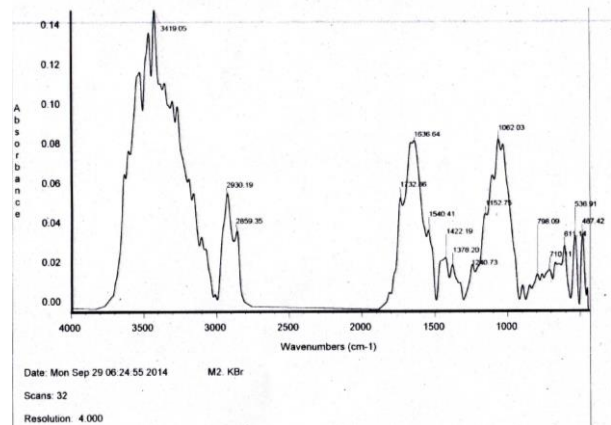
Hình 2: Hình thái học bề mặt của VLHP

Hình 3 và 4 là sự thay đổi các nhóm chức trên bề mặt của các vật liệu được kiểm tra thông qua chụp phổ hồng ngoại của bã chè chưa biến tính và sau khi biến tính bằng KOH. Trước khi hoạt hóa, bã chè chưa biến tính KOH (hình 3) xuất hiện các đỉnh phổ rộng ở $3423,28\text{ cm}^{-1}$, đại diện cho nhóm $-\text{OH}$, $2924,87\text{ cm}^{-1}$ liên hệ với sự hấp thụ của nhóm C-H no. Đỉnh phổ tại tần số $1736,29\text{ cm}^{-1}$ được cho là của nhóm cacbonyl $\text{C}=\text{O}$ (cacboxylic). Dải hấp thụ có tần số từ $1671,60$ và $1629,16\text{ cm}^{-1}$ tương ứng với sự hấp thụ của nhóm $\text{C}=\text{O}$ kéo dài liên hợp với NH_2 . Đỉnh ở $1544,29\text{ cm}^{-1}$ tương ứng với nhóm amin bậc hai. Sự hấp thụ hồng ngoại của nhóm CH_3 đối xứng được chỉ ra tại đỉnh phổ $1456,38, 1335,13\text{ cm}^{-1}$. Các đỉnh phổ xung quanh $1236,13; 1036,03\text{ cm}^{-1}$ có thể gán cho dao động của nhóm SO_3 và C-O [5, 7]. Khi so sánh phổ hồng ngoại VLHP trước và sau khi biến tính bằng KOH ở hình 3 và 4 cho thấy một số đỉnh phổ đã bị biến mất và một số khác lại xuất hiện trên bề mặt VLHP sau khi biến tính. Cụ thể đã xuất hiện các đỉnh phổ trên bề mặt VLHP sau khi biến tính tại các tần số $2859,35; 1152,75; 822,84\text{ cm}^{-1}$, và các đỉnh phổ biến mất trên bề mặt VLHP sau khi biến tính KOH được phát hiện tại các tần số $2930,18; 1671,64; 798,09\text{ cm}^{-1}$. Những thay đổi này cho thấy đã biến tính thành công bã chè bằng KOH và các nhóm chức bề mặt cacboxylat, phenolic, nhóm

hydroxyl và oxyl thơm trên bề mặt VLHP vẫn chiếm ưu thế [7].



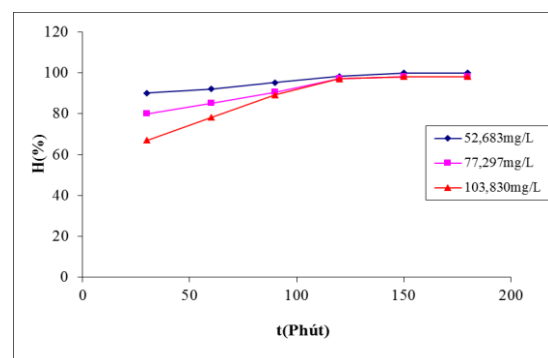
Hình 3: Phổ hồng ngoại của bã chè



Hình 4: Phổ hồng ngoại của VLHP

3.2. Khảo sát thời gian cân bằng hấp phụ của VLHP

Hình 5 là kết quả khảo sát thời gian cân bằng hấp phụ của VLHP.



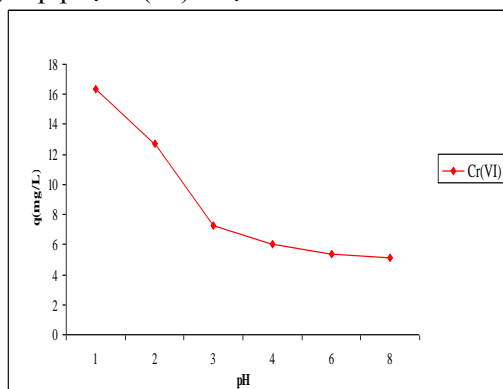
Hình 5: Đồ thị biểu diễn ảnh hưởng của thời gian đến hiệu suất hấp phụ Cr(VI) của VLHP

Các nghiên cứu trước cho thấy thời gian là một trong những yếu tố ảnh hưởng đến khả năng loại bỏ ion kim loại trong dung dịch nước của VLHP. Kết

quả khảo sát từ 30-180 phút cho thấy dung lượng hấp phụ của VLHP ở cả 3 nồng độ trên đều tăng theo thời gian. Trong đó, dung lượng hấp phụ tăng nhanh từ 30-120 phút, từ 120-180 phút, dung lượng hấp phụ tăng chậm và dần ổn định. Do đó, chúng tôi lựa chọn 150 phút là thời gian để nghiên cứu tiếp theo đối với sự hấp phụ ion Cr(VI) của VLHP.

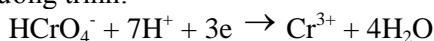
3.3. Khảo sát ảnh hưởng của pH

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của pH đến khả năng hấp phụ Cr(VI) được chỉ ra ở hình 6.



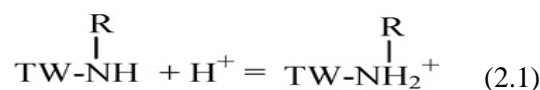
Hình 6: Đồ thị biểu diễn ảnh hưởng của pH đến dung lượng hấp phụ Cr(VI) của VLHP

Từ đồ thị cho thấy khi pH tăng từ 1,02÷8,04, dung lượng hấp phụ của VLHP giảm. Điều này có thể giải thích như sau: Trong khoảng pH đang xét bề mặt VLHP tích điện dương, khi giá trị pH tăng, nồng độ ion OH^- cũng tăng dần, trong dung dịch lúc này sẽ xảy ra sự hấp phụ cạnh tranh giữa ion Cr(VI) mang điện tích âm dưới dạng $HCrO_4^-$, CrO_4^{2-} 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 giá trị pH khác nhau là khác nhau [1]. Trong khoảng pH từ 1-6, Cr(VI) tồn tại chủ yếu ở dạng $HCrO_4^-$ sau đó chuyển dần sang dạng CrO_4^{2-} khi pH tăng. Vì vậy sự hấp phụ dạng $HCrO_4^-$ thuận lợi hơn dạng CrO_4^{2-} khi ở cùng nồng độ hay việc loại bỏ Cr(VI) tại các giá trị pH thấp chủ yếu là do sự hấp phụ của $HCrO_4^-$. Trong môi trường pH thấp, bề mặt của VLHP bị proton hóa dẫn đến tích điện dương, trong khi dạng tồn tại Cr(VI) chủ yếu là các anion $HCrO_4^-$, do đó xảy ra sự tương tác tĩnh điện giữa bề mặt chất hấp phụ và chất bị hấp phụ. Sự hấp phụ ở giá trị pH thấp còn được giải thích bởi cơ chế khử trực tiếp Cr(VI) thành Cr(III) theo phương trình:



Đồng thời tại các giá trị pH thấp, nhóm amin (NH) có trên bề mặt bã chèn nhận H^+ và mang điện

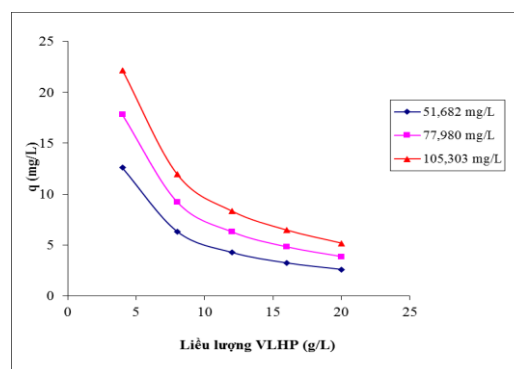
tích dương, (xảy ra theo phương trình 2.1). Do đó quá trình hấp phụ Cr(VI) của VLHP sẽ xảy ra thuận lợi hơn [1].



Khi pH tăng, sự có mặt của ion OH^- gây ra tương tác tĩnh điện đẩy giữa chúng với các ion bicromate và dicromate, làm cản trở quá trình hấp phụ các ion này lên bề mặt VLHP. Vì vậy, chúng tôi chọn pH = 1 đối với sự hấp phụ Cr(VI) cho các thí nghiệm tiếp theo.

3.4. Khảo sát ảnh hưởng của khối lượng VLHP

Ảnh hưởng của khối lượng lên kết quả hấp phụ được chỉ ra ở hình 7.



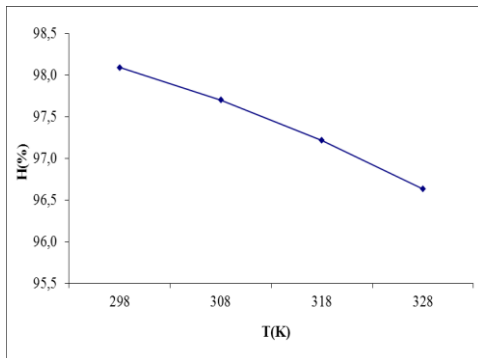
Hình 7: Đồ thị biểu diễn ảnh hưởng của khối lượng VLHP đến dung lượng hấp phụ Cr(VI) của VLHP

Từ kết quả trên cho thấy, khi tăng khối lượng VLHP thì hiệu suất hấp phụ tăng và dung lượng hấp phụ giảm. Hiệu suất hấp phụ tăng khi khối lượng VLHP tăng là do số lượng các trung tâm hấp phụ tăng. Tuy nhiên khối lượng ion kim loại đã bị hấp phụ trên một đơn vị trọng lượng của VLHP giảm do sự tăng khối lượng của VLHP. Chúng tôi nhận thấy rằng khi khối lượng VLHP tăng từ 0,1 lên 0,5g, lúc đầu thì dung lượng hấp phụ giảm nhanh khi khối lượng VLHP tăng từ 0,1 lên 0,2 g, sau đó giảm chậm hơn khi khối lượng VLHP tăng từ 0,3 lên 0,5 g. Chính vì vậy, chúng tôi lựa chọn khối lượng vật liệu tối ưu là 0,15 g cho thí nghiệm nghiên cứu.

3.5. Khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ

Hình 8 là kết quả khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ lên sự hấp phụ của Cr(VI). Có thể nhận thấy trong khoảng nhiệt độ nghiên cứu từ 25-55 °C ($\pm 1^\circ C$); khi tăng nhiệt độ thì cả hiệu suất hấp phụ và dung lượng hấp phụ đều giảm. Điều này có thể giải

thích như sau: Do hấp phụ là quá trình tỏa nhiệt cho nên khi tăng nhiệt độ cân bằng hấp phụ chuyển dịch theo chiều nghịch tức làm tăng nồng độ chất bị hấp phụ trong dung dịch và dẫn đến làm giảm hiệu suất và dung lượng hấp phụ của quá trình hấp phụ. Điều này cũng cho thấy sự hấp phụ Cr(VI) trên VLHP tuân theo cơ chế hấp phụ vật lý [7].

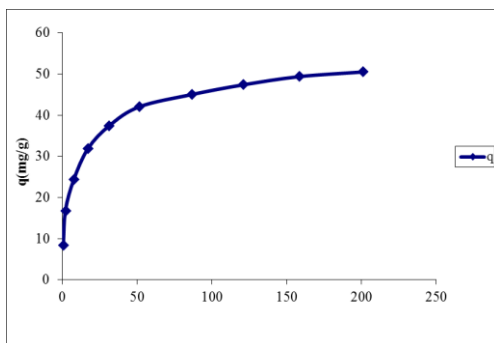


Hình 8: Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc hiệu suất hấp phụ vào nhiệt độ

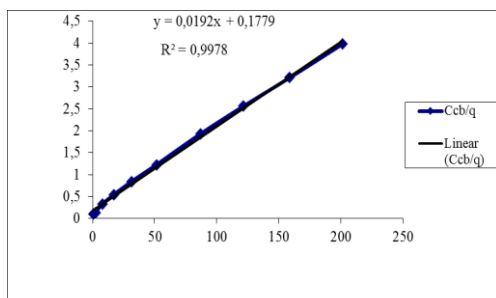
3.6. Khảo sát dung lượng hấp phụ Cr(VI) của VLHP

Đã tiến hành khảo sát cân bằng hấp phụ theo mô hình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir. Kết quả được thể hiện trong các hình 9 và 10.

Từ đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của C_{cb}/q (g/l) vào C_{cb} (mg/l) đối với Cr(VI) tính được các giá trị dung lượng hấp phụ cực đại q_{max} và hằng số Langmuir b (bảng 1).



Hình 9: Đường đẳng nhiệt Langmuir của VLHP đối với Cr(VI)



Hình 10: Sự phụ thuộc C_{cb}/q vào C_{cb} của Cr(VI)

Bảng 1: Dung lượng hấp phụ cực đại và hằng số Langmuir

Dung lượng hấp phụ cực đại q_{max} (mg/g)	52,083
Hằng số Langmuir b	0,108

Từ các kết quả thực nghiệm cho thấy hệ số hồi quy tuyến tính $R^2 > 0,99$, như vậy quá trình hấp phụ Cr(VI) tuân theo mô hình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir. Hấp phụ xảy ra trên bề mặt VLHP là hấp phụ đơn lớp.

3.7. Kết quả xử lý mẫu nước thải chứa Cr(VI)

Kết quả được trình bày ở bảng 2.

Kết quả thực nghiệm cho thấy, VLHP có khả năng tách loại ion Cr(VI) khỏi nước thải tương đối tốt. Các mẫu nước thải chứa ion Cr(VI) với nồng độ là 65,101 mg/L. Sau khi hấp phụ lần một nồng độ ion Cr(VI) đã đạt tiêu chuẩn cho phép đối với nước thải đổ vào các khu vực lấy nước cung cấp cho sinh hoạt theo QCVN24: 2009/BTNMT.

Bảng 2: Kết quả tách loại Cr(VI) khỏi nước thải

Ion	C_0 (mg/L)	C_{cb} (mg/L)	H%
Cr(VI)	64,575	0,000	100

4. KẾT LUẬN

- Đã chế tạo thành công VLHP từ bã chè được biến tính bằng KOH.

- Đã xác định được đặc điểm bề mặt, một số nhóm chức của các VLHP bã chè biến tính bằng KOH qua ảnh hiển vi điện tử quét và phổ hồng ngoại.

- Đã khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ của VLHP đối với các ion Cr(VI) bằng phương pháp hấp phụ tĩnh, kết quả thu được như sau:

+ Thời gian đạt cân bằng hấp phụ Cr(VI) là 150 phút.

+ pH hấp phụ tốt nhất đối với Cr(VI) là 1,0.

+ Khi tăng khối lượng VLHP, hiệu suất hấp phụ tăng, dung lượng hấp phụ giảm.

+ Khi tăng nhiệt độ từ 25-55 °C (± 1 °C); thì dung lượng và hiệu suất hấp phụ Cr(VI) giảm.

- Mô tả quá trình hấp phụ theo mô hình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir, đã xác định được dung lượng hấp phụ cực đại của VLHP đối với các ion Cr(VI) là 52,083 mg/g.

- Dùng VLHP chế tạo được xử lý mẫu nước thải chứa ion Cr(VI) của Nhà máy khoá Việt Tiệp Hà Nội. Kết quả cho thấy, khi hấp phụ lần một nồng độ

Cr(VI) đã đạt tiêu chuẩn cho phép đối với nước thải đổ vào các khu vực lấy nước cung cấp cho sinh hoạt.

Các kết quả thu được cho thấy vật liệu hấp phụ bã chè biến tính KOH có khả năng hấp phụ các ion Cr(VI) tốt và có thể triển khai nghiên cứu ứng dụng nó cho việc xử lý các nguồn nước bị ô nhiễm bởi những ion kim loại khác.

Lời cảm ơn. Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 103.02-2014.68.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Đỗ Trà Hương, Lê Xuân Quế. Nghiên cứu hấp phụ Cr(VI), Ni(II) bằng vật liệu hấp phụ oxit từ tính nano Fe₃O₄ phân tán trên bã chè, Tạp chí Hóa học, **52(5A)**, 41-46 (2014).
- Đỗ Trà Hương, Lê Xuân Quế, Đặng Văn Thành. Nghiên cứu hấp phụ màu phẩm đỏ hoạt tính DH 120 bằng vật liệu bã chè, Tạp chí Hóa học, **52(6ABC)**, 46-52 (2014).
- Rajesh Madhu, Kalimuthu Vijaya Sankar, Shen-Ming Chen, Ramakrishnan Kalai Selvan. *Eco-friendly synthesis of activated carbon from dead mango leaves for the ultra high sensitive detection of toxic heavy metal ions and energy storage applications*, RSC Advances, **4**, 1225-1233 (2014).
- S. Senthilkumaar, P. R. Varadarajan, K. Porkodi, C. V. Subbhuraam. *Adsorption of methylene blue onto jute fiber carbon: kinetics and equilibrium studies*, J. Colloid Interf. Sci., **284**, 78-82 (2005).
- T Celal Durana, Duygu Ozdesa, Ali Gundogdub, Mustafa Imamoglug, Hasan Basri Senturk. *Tea-industry waste activated carbon, as a novel adsorbent for separation, preconcentration and speciation of chromium*, Analytica Chimica Acta, **688**, 75-83 (2011).
- V. Vadivelan, K. V. Kumar. *Equilibrium, kinetics, mechanism, and process design for the sorption of methylene blue onto rice husk*, J. Colloid Interf. Sci. **286**, 90-100 (2005).
- Xiaoping Yang, Xiaoning Cui. *Adsorption characteristics of Pb(II) on alkali treated tea residue*, Water Resources and Industry, **3**, 1-10 (2013).

Liên hệ: Đỗ Trà Hương

Khoa Hóa học, Trường Đại học Sư phạm – Đại học Thái Nguyên
Số 20, Lương Ngọc Quyến, Thành phố Thái Nguyên
E-mail: dotrahuong@gmail.com.