

CHẾ TẠO THAN TỪ BÃ ĐẬU NÀNH, NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG HẤP PHỤ Cr (VI) CỦA THAN CHẾ TẠO ĐƯỢC

Vatsana Inthapasong, Vũ Thị Hậu*

Trường Đại học Sư phạm - ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày các kết quả chế tạo than từ bã đậu nành bằng phương pháp than hóa và khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng đến khả năng hấp phụ Cr(VI) của than chế tạo được. Các thí nghiệm hấp phụ được tiến hành với các thông số sau: khối lượng than bã đậu: 0,05 g/25mL; tốc độ lắc: 200 vòng/phút; thời gian đạt cân bằng hấp phụ là 90 phút ở nhiệt độ phòng ($25 \pm 1^\circ\text{C}$); pH hấp phụ tốt nhất là 2,0. Trong khoảng nhiệt độ khảo sát từ 303 ÷ 323K, sự hấp phụ Cr(VI) trên than bã đậu là hấp phụ hóa học. Khảo sát theo mô hình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir kết quả nghiên cứu cho thấy dung lượng hấp phụ cực đại của than bã đậu đối Cr(VI) là 37,04 mg/g ở 298K.

Từ khóa: hấp phụ; Cr(VI); than; bã đậu nành; kẽm clorua

Ngày nhận bài: 09/5/2020; Ngày hoàn thiện: 28/5/2020; Ngày đăng: 29/5/2020

PREPARATION OF CHARCOAL FROM SOYBEAN RESIDUE AND STUDY ON ABSORPTION CAPACITY FOR Cr(VI)

Vatsana Inthapasong, Vu Thi Hau*

TNU - University of Education

ABSTRACT

Charcoal was fabricated from soybean residue by carbonization using activating agent of zinc chloride. Some factors affected to absorption capacity of it was investigated. The experiments for studying the absorption were carried out with some parameters: the absorbent mass of 0.05 g/25 mL; shaking rate of 200 rounds/min; time for absorption equilibrium of 90 mins at room temperature ($25 \pm 1^\circ\text{C}$); Optimal pH for absorption of 2.0. The temperature range of 303 ÷ 323K, the absorption of Cr (VI) onto the absorbent is chemical absorption. By investigating the absorption using Langmuir adsorption isothermal model showed that the maximum adsorption capacity to Cr (VI) was 37.04 mg/g at 298K.

Keywords: adsorption; Cr(VI); charcoal; soybean residue; zinc chloride

Received: 09/5/2020; Revised: 28/5/2020; Published: 29/05/2020

* Corresponding author. Email: vuthihaukhoahoa@gmail.com

1. Mở đầu

Hiện nay, ở Việt Nam vấn đề ô nhiễm môi trường nước còn xảy ra khá nghiêm trọng. Theo một số nghiên cứu [1], [2] thì hàm lượng các kim loại nặng trong nước thải của các làng nghề tái chế kim loại, nhiều khu công nghiệp hầu hết đều cao hơn tiêu chuẩn cho phép nhiều lần và đều thải trực tiếp vào môi trường mà không qua xử lý. Đây là những nguy cơ gây ô nhiễm đất và các nguồn nước mặt trong khu vực. Ô nhiễm kim loại nặng trong nước ảnh hưởng trực tiếp tới sức khỏe con người cũng như môi trường sống tự nhiên.

Nước thải có crôm sinh ra trong quá trình mạ crôm, thụ động hóa mạ kẽm, mạ đồng và hợp kim của chúng. Cr (VI) có tính độc rất mạnh như: gây loét dạ dày, ruột non, viêm gan, viêm thận, ung thư phổi... Phương pháp xử lý nước thải crom có nhiều loại, chủ yếu là phương pháp hóa học, phương pháp điện phân, phương pháp trao đổi ion, phương pháp hấp phụ than hoạt tính,... Loại bỏ Cr ra khỏi môi trường nước bằng phương pháp hấp phụ sử dụng than chế tạo từ các nguồn khác nhau đã được các nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm nghiên cứu [3]-[9].

Đậu nành hay còn gọi là đỗ tương (soyabean), tên khoa học *Glycine max* thuộc họ Đậu (Fabaceae), là ngũ cốc rất giàu chất đạm được xem là một nguồn cung cấp protein hoàn chỉnh vì nó chứa một lượng đáng kể các amino axit không thay thế cần thiết cho cơ thể. Do năng suất khá cao, giá trị dinh dưỡng tốt, đậu nành được canh tác rất nhiều để làm thức ăn cho người và gia súc. Tuy nhiên, sau mỗi lần chế biến thành thực phẩm, một số bộ phận của đậu nành như bã đậu nành, vỏ đậu nành,... lại bị loại bỏ. Bài báo này trình bày các kết quả chế tạo than từ bã đậu nành và khảo sát khả năng hấp phụ Cr (VI) của sản phẩm.

2. Thực nghiệm

2.1. Hóa chất và thiết bị nghiên cứu

Hóa chất:

K₂Cr₂O₇; dung dịch ZnCl₂ 95%; dung dịch NaOH 0,1M; dung dịch HCl 3M; 0,1M; dung dịch Na₂CO₃ 0,1M. Tất cả hóa chất nêu trên đều có độ tinh khiết PA, xuất xứ Trung Quốc.

Thiết bị nghiên cứu: Cân phân tích 4 số Precisa XT 120A-Switzerland (Thụy Sĩ), bếp cách thủy, lò nung Carbolite (Anh), máy lắc IKA HS-260 (Malaysia), máy đo pH Precisa 900 (Thụy Sĩ), tủ sấy Jeitech (Hàn Quốc), máy đo quang UV-Vis 1700 Shimadzu (Nhật Bản).

2.2. Chế tạo vật liệu hấp phụ

Chuẩn bị nguyên liệu

Nguyên liệu được sử dụng trong bài báo này là bã đậu nành lấy ở xưởng sản xuất đậu phụ ở phường Gia Sàng, thành phố Thái Nguyên. Rửa sạch phần nguyên liệu đã chuẩn bị bằng nước cất, sấy khô ở 105°C, nghiền nhỏ, phân loại hạt với kích thước $d \leq 5$ mm.

Chế tạo vật liệu hấp phụ (than)

Tiến hành hoạt hóa nguyên liệu bằng ZnCl₂ 95% với tỉ lệ V_{ZnCl_2} (mL): khối lượng nguyên liệu (g) là 1:4; 1:2; 1:1; 2:1; trộn đều, ngâm ở nhiệt độ phòng trong 24 giờ. Hỗn hợp được khuấy bằng máy khuấy từ ở 90°C trong 2 giờ, sau đó sấy ở 105°C trong 24 giờ để khử nước. Tiếp đó, hỗn hợp được nung ở các nhiệt độ 400°C, 450°C, 500°C trong 1 giờ, rửa với dung dịch HCl 3M, sau đó đun trên bếp cách thủy ở 95°C trong 30 phút, tiếp đó lọc và rửa lại bằng nước cất ấm để loại bỏ ion kẽm dư. Lấy phần rắn sấy khô ở 105°C trong 12 giờ. Cuối cùng nghiền, rây ta thu được than bã đậu chế tạo được tương ứng với các tỉ lệ trên được đưa vào bảng 1.

Bảng 1. Kí hiệu các mẫu TBD

Tỉ lệ V_{ZnCl_2} (mL): khối lượng nguyên liệu (g)	1:4	1:2	1:1	2:1	1:4	1:2	1:1	2:1	1:4	1:2	1:1	2:1
Nhiệt độ nung (°C)	400°C				450°C				500°C			
Kí hiệu mẫu	V401	V402	V403	V404	V451	V452	V453	V454	V501	V502	V503	V504

Ngoài 12 mẫu TBĐ được chế tạo được trình bày ở bảng trên, bài báo này còn nghiên cứu mẫu bã đậu ban đầu (nguyên liệu), kí hiệu V505. Các mẫu sau chế tạo được đánh giá khả năng hấp phụ thông qua các thí nghiệm khảo sát khả năng hấp phụ đối với Cr(VI), chứng minh kết quả qua ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) và diện tích bề mặt riêng (BET).

2.3. Quy trình thực nghiệm và các thí nghiệm nghiên cứu hấp phụ

2.3.1. Quy trình thực nghiệm

Trong mỗi thí nghiệm hấp phụ:

- Thể tích dung dịch Cr(VI): 25 mL với nồng độ xác định.
- Lượng chất hấp phụ: 0,05 g.
- Thí nghiệm được tiến hành ở nhiệt độ phòng ($25 \pm 1^\circ\text{C}$), sử dụng máy lắc với tốc độ 200 vòng/phút.

2.3.2. Các thí nghiệm nghiên cứu

+ Khảo sát sơ bộ khả năng hấp phụ Cr(VI) của các mẫu than bã đậu chế tạo được: Các điều kiện: thể tích dung dịch Cr(VI), khối lượng than bã đậu, nhiệt độ hấp phụ, tốc độ lắc như ghi ở mục 2.3.1. thời gian hấp phụ: 120 phút; nồng độ đầu dung dịch Cr(VI) là 49,10 mg/L.

+ Khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng đến khả năng hấp phụ Cr(VI) của than:

- Ảnh hưởng của pH: thời gian hấp phụ 90 phút; pH dung dịch thay đổi từ 2 đến 7; nồng độ đầu của Cr(VI) là 63,87 mg/L.
- Thời gian đạt cân bằng hấp phụ: sử dụng giá trị pH tối ưu đã xác định ở thí nghiệm trước; thời gian hấp phụ khác nhau ($5 \div 120$ phút), nồng độ đầu của Cr(VI) là 49,10 mg/L.
- Ảnh hưởng của nhiệt độ: sử dụng giá trị pH; thời gian tối ưu đã xác định ở thí nghiệm trước; nồng độ đầu của Cr(VI) là 77,13 mg/L; nhiệt độ thí nghiệm thay đổi 303 - 323K.
- Ảnh hưởng của nồng độ đầu Cr(VI) và xác định dung lượng hấp phụ cực đại: thời gian

hấp phụ, khối lượng, pH tối ưu như đã xác định được ở thí nghiệm trước; nồng độ ban đầu Cr(VI) thay đổi từ 35,70 - 79,43 mg/L.

Nồng độ Cr(VI) trước và sau hấp phụ được xác định bằng phương pháp đo mật độ quang ở bước sóng 540 nm.

Dung lượng và hiệu suất hấp phụ được xác định theo phương trình (1) và (2).

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{m} \quad (1)$$

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

Trong đó:

- q_t : dung lượng hấp phụ ở thời điểm t (mg/g)
- V: thể tích dung dịch Cr(VI) được lấy để hấp phụ (L)
- m: khối lượng chất hấp phụ (g)
- H: hiệu suất hấp phụ (%)
- C_0, C_t : nồng độ đầu và nồng độ tại thời điểm t của dung dịch Cr(VI) (mg/L)

Dung lượng hấp phụ cực đại của than bã đậu đối với Cr(VI) được xác định dựa vào đồ thị phương trình (3) – phương trình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir dạng tuyến tính:

$$\frac{C_{cb}}{q} = \frac{1}{q_{\max}} C_{cb} + \frac{1}{q_{\max} b} \quad (3)$$

Trong đó:

- $q, q_{\max}$: dung lượng hấp phụ và dung lượng hấp phụ cực đại
- C_{cb} : nồng độ tại thời điểm cân bằng của dung dịch Cr(VI)
- b: hằng số

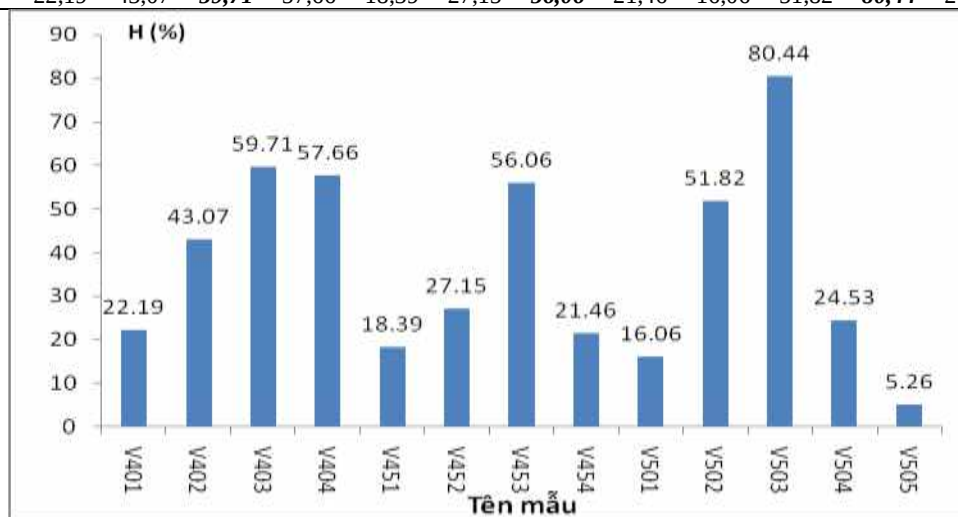
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Khảo sát sơ bộ khả năng hấp phụ Cr(VI) của nguyên liệu và các mẫu than bã đậu

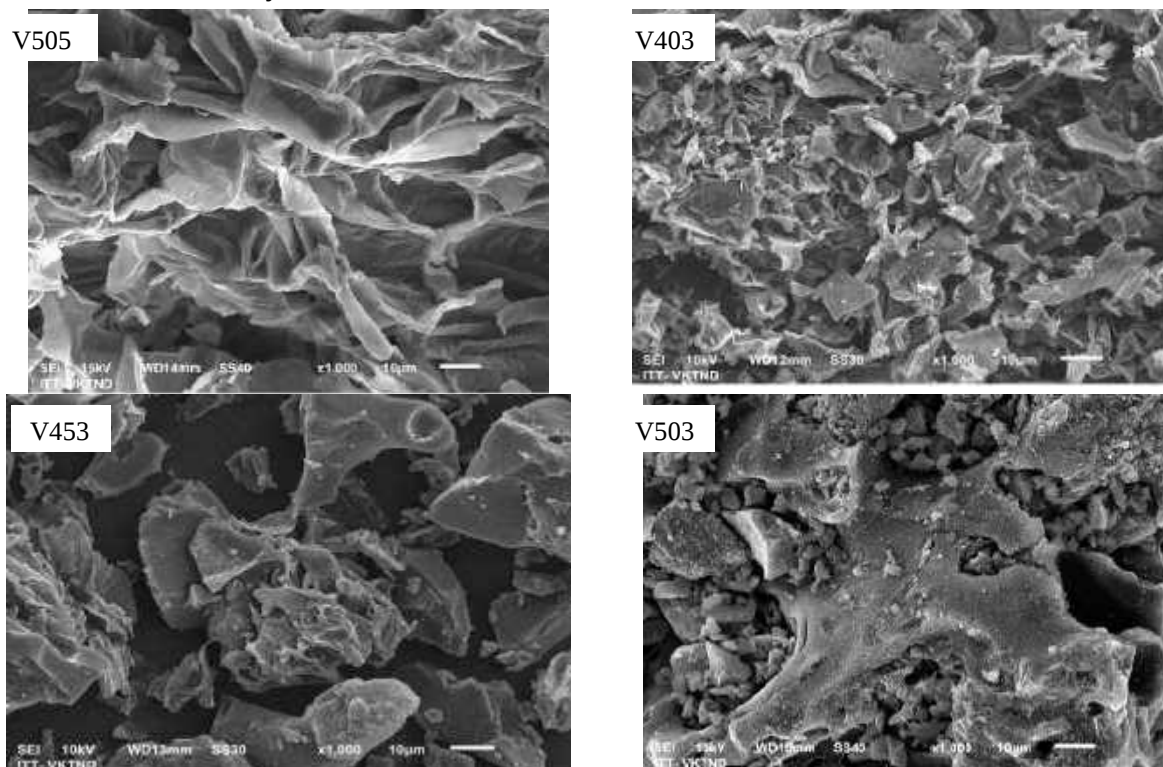
Kết quả khảo sát sơ bộ khả năng hấp phụ Cr(VI) của nguyên liệu và các mẫu TBĐ chế tạo được thể hiện ở bảng 2 và hình 1.

Bảng 2. Kết quả khảo sát sơ bộ khả năng hấp phụ Cr(VI) của các mẫu

Tên mẫu	V401	V402	V403	V404	V451	V452	V453	V454	V501	V502	V503	V504	V505
C_0 (mg/L)		49,10				49,10					49,10		
C_{cb} (mg/L)	38,21	27,96	19,78	20,79	40,07	35,77	21,58	38,57	41,22	23,66	9,61	37,06	46,52
H (%)	22,19	43,07	59,71	57,66	18,39	27,15	56,06	21,46	16,06	51,82	80,44	24,53	5,26

**Hình 1.** Biểu đồ so sánh hiệu suất hấp phụ Cr(VI) của nguyên liệu và các mẫu than bã đậu

Nhận xét: Kết quả ở bảng 2 và hình 1 cho thấy, ở các nhiệt độ nung nghiên cứu thì tỷ lệ V_{ZnCl_2} (mL): khối lượng nguyên liệu (g) là 1:1 luôn cho mẫu than bã đậu có hiệu suất hấp phụ Cr(VI) cao nhất; nhiệt độ nung mẫu tăng thì hiệu suất hấp phụ Cr(VI) của than bã đậu cũng tăng. Kết quả này cũng phù hợp với ảnh SEM và diện tích bề mặt riêng theo BET của một số mẫu than bã đậu được trình bày ở mục 3.2.

**Hình 2.** Ảnh hiển vi điện tử quét SEM của nguyên liệu (V505) và của 3 mẫu than bã đậu

Cũng theo kết quả ở bảng 2 và hình 1 cho thấy, trong cùng điều kiện thì hiệu suất hấp phụ Cr(VI) của mẫu V503 là cao nhất và mẫu thấp nhất là V505 (mẫu không hoạt hóa bằng ZnCl_2). Điều này cho thấy tác dụng hoạt hóa của ZnCl_2 , đồng thời lượng ZnCl_2 đưa vào mẫu cũng phải phù hợp, ít (các mẫu tỉ lệ 1:4; 1:2) có thể không đủ hoạt hóa bề mặt hay nhiều (các mẫu tỉ lệ 2:1) có thể làm giảm diện tích bề mặt nên khả năng hấp phụ Cr(VI) giảm. Từ kết quả trên, chọn mẫu V503 cho các nghiên cứu khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ Cr(VI) của than bã đậu dưới đây.

3.2. Một số đặc trưng của nguyên liệu và than bã đậu

Kết quả xác định hình thái học bề mặt của nguyên liệu ban đầu và của một số mẫu than bã đậu được trình bày ở hình 2.

Kết quả SEM cho thấy có sự khác nhau rõ rệt giữa bề mặt các mẫu than bã đậu và bề mặt nguyên liệu, trên bề mặt than bã đậu xuất hiện nhiều lỗ xốp với kích thước khác nhau, đây chính là “trung tâm” hấp phụ của than bã đậu. Hình dạng các hạt trong các mẫu than bã đậu không xác định, kích thước không đồng đều. Trong số 3 mẫu than bã đậu có hiệu suất hấp phụ Cr(VI) cao nhất ở từng nhiệt độ nghiên cứu, mẫu V503 có nhiều hạt kích thước nhỏ và xuất hiện nhiều lỗ xốp hơn cả. Điều này dự đoán khả năng hấp phụ cao của mẫu V503.

Kết quả đo diện tích bề mặt riêng theo phương pháp BET của mẫu được chỉ ra ở bảng 3.

Bảng 3. Diện tích bề mặt riêng theo phương pháp BET của các mẫu

Kí hiệu mẫu	V505	V403	V453	V503
S_{BET} (m^2/g)	1,23	232,1	338,7	605,7

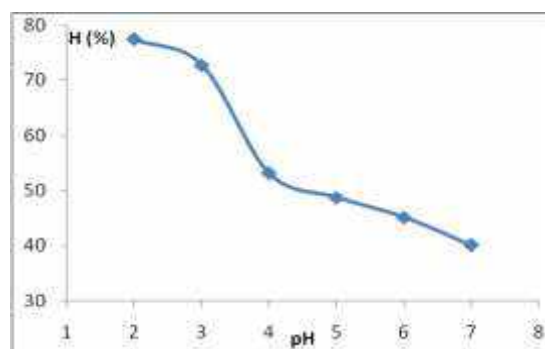
Kết quả bảng 3 chỉ ra mẫu V503 có diện tích bề mặt lớn nhất, mẫu nguyên liệu nhỏ nhất. Sự khác nhau rõ rệt về ảnh SEM và diện tích bề mặt riêng của mẫu V503 so với nguyên liệu và các mẫu than bã đậu khác cho thấy khả năng hấp phụ cao của mẫu này. Điều này hoàn toàn phù hợp với kết quả khảo sát khả năng hấp phụ Cr(VI) thu được ở mục 3.1 bên trên.

Kết quả xác định điểm đẳng điện của mẫu V503 là $pI = 6,35$. Điều này cho thấy khi $pH < pI$ thì bề mặt V503 tích điện dương, khi $pH > pI$ thì bề mặt V503 tích điện âm.

3.3. Khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng đến khả năng hấp phụ Cr(VI) của mẫu V503

3.3.1. Ảnh hưởng của pH

Kết quả về ảnh hưởng của pH đến khả năng hấp phụ Cr(VI) của mẫu V503 được chỉ ra ở hình 3.



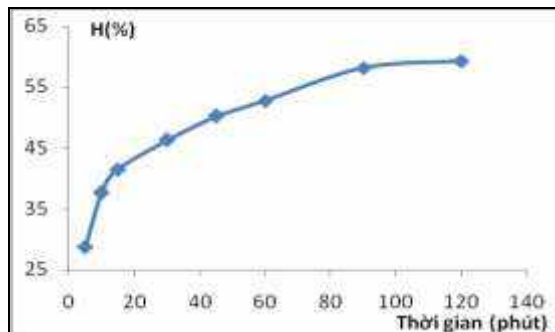
Hình 3. Ảnh hưởng của pH đến hiệu suất hấp phụ Cr(VI)

Kết quả hình 3 cho thấy, trong khoảng pH từ 1 ÷ 7 đã khảo sát thì: Khi pH tăng thì hiệu suất hấp phụ giảm, trong khoảng pH từ 2÷3 dung lượng hấp phụ giảm chậm, khi $pH > 4$ thì dung lượng hấp phụ giảm nhanh. Điều này có thể giải thích như sau: Ở pH thấp Cr(VI) tồn tại chủ yếu ở dạng HCrO_4^- và $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, do vậy xảy ra lực hút tĩnh điện giữa bề mặt than tích điện dương và các dạng ion Cr(VI) tích điện âm nên sự hấp phụ Cr(VI) xảy ra ở pH thấp là thuận lợi. Ở pH cao, dung lượng hấp phụ của than đối với Cr(VI) giảm là do sự cạnh tranh giữa các dạng ion Cr(VI) tích điện âm với ion OH^- trong dung dịch và lực đẩy tĩnh điện giữa bề mặt than tích điện âm với các dạng ion Cr(VI) cũng tích điện âm.

Vì vậy, đã chọn $pH = 2$ là pH tốt nhất cho sự hấp phụ của than đối với Cr(VI). Kết quả này được sử dụng cho các nghiên cứu tiếp theo. Kết quả thu được này cũng trùng hợp với nhiều kết quả nghiên cứu hấp phụ Cr(VI) trên các vật liệu khác nhau [3], [4], [6], [8].

3.3.2. Ảnh hưởng của thời gian

Kết quả về ảnh hưởng của thời gian đến khả năng hấp phụ Cr(VI) của mẫu V503 được trình bày ở hình 4.



Hình 4. Ảnh hưởng của thời gian đến hiệu suất hấp phụ Cr(VI)

Kết quả hình 4 cho thấy: Khi thời gian hấp phụ tăng thì hiệu suất hấp phụ tăng. Trong khoảng thời gian từ 5 ÷ 90 phút hiệu suất hấp phụ tăng tương đối nhanh và dần ổn định trong khoảng thời gian từ 90 ÷ 120 phút. Hiệu suất hấp phụ phụ thuộc vào thời gian tiếp xúc, thời gian tiếp xúc càng nhiều thì hiệu suất hấp phụ càng cao, đến một thời điểm nhất định, hiệu suất hấp phụ không tăng do quá trình hấp phụ đã đạt cân bằng (trong trường hợp này là 90 phút). Do vậy, chọn thời gian đạt cân bằng hấp phụ là 90 phút và sử dụng kết quả này cho các thí nghiệm tiếp theo.

3.3.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đến dung lượng và hiệu suất hấp phụ Cr(VI) của than được trình bày ở bảng 4.

Bảng 4. Sự phụ thuộc dung lượng và hiệu suất hấp phụ Cr(VI) của than vào nhiệt độ

T (K)	C _o (mg/L)	C _{cb} (mg/L)	q (mg/g)	H (%)
303		42,65	17,24	44,70
308		34,19	21,47	55,67
313	77,13	30,11	23,51	60,97
318		29,39	23,87	61,90
323		23,80	26,67	69,15

Kết quả bảng 4 cho thấy, trong khoảng nhiệt độ khảo sát từ 303 đến 323K khi nhiệt độ tăng thì dung lượng và hiệu suất hấp phụ Cr(VI) của than đều tăng. Điều này cho thấy quá trình hấp phụ Cr(VI) trên than là hấp phụ hóa học.

3.3.4. Ảnh hưởng của nồng độ Cr(VI) ban đầu và xác định dung lượng hấp phụ cực đại

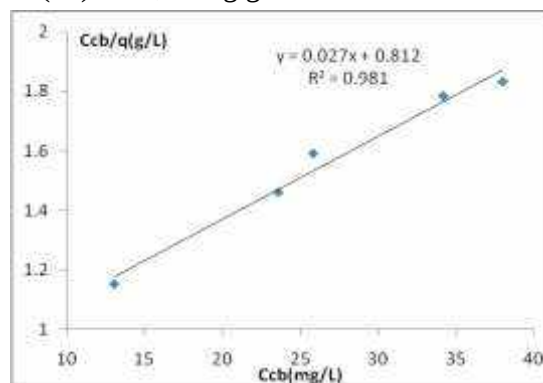
Kết quả về ảnh hưởng của nồng độ đầu đến khả năng hấp phụ Cr(VI) của mẫu V503 được trình bày ở bảng 5.

Bảng 5. Ảnh hưởng của nồng độ Cr(VI) ban đầu đến khả năng hấp phụ của than

C _o (mg/L)	C _{cb} (mg/L)	Q (mg/g)	H%	C _{cb} /q (g/L)
35,70	13,05	11,33	63,45	1,15
55,84	23,58	16,13	57,77	1,46
58,28	25,81	16,24	55,72	1,59
72,55	34,19	19,18	52,87	1,78
79,43	38,00	20,72	52,17	1,83

Các kết quả thực nghiệm ở bảng 5 đã chứng tỏ hiệu suất hấp phụ giảm, dung lượng hấp phụ của than tăng khi nồng độ đầu của Cr(VI) tăng. Điều này là hoàn toàn phù hợp với quy luật.

Cũng từ các kết quả thực nghiệm này, dựa vào phương trình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir dạng tuyến tính (hình 5) tính được dung lượng hấp phụ cực đại của than đối với Cr(VI) là 37,04 mg/g.



Hình 5. Đường đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir dạng tuyến tính của than đối với Cr(VI)

Dung lượng hấp phụ Cr(VI) của than chế tạo được cao hơn so với một số than hoạt tính chế tạo từ vỏ lạc, lá phi lao nhưng thấp hơn so với than chế tạo từ vỏ hạt đậu, thân sen. Kết quả này cũng cho thấy khả năng hấp phụ Cr(VI) của các loại than hoạt tính phụ thuộc vào bản chất nguyên liệu đầu chế tạo than. Kết quả cụ thể được trình bày ở bảng 6.

Bảng 6. So sánh dung lượng hấp phụ Cr(VI) của than bã đậu chế tạo được với một số than khác

STT	Nguyên liệu đầu chế tạo than	$q_{\max}$ (mg/g)	Tài liệu tham khảo
1	Vỏ hạt đậu	46,21	[4]
2	Vỏ lạc	16,26	[3]
3	Lá phi lao	17,20	[6]
4	Thân sen	76,92	[8]
5	Bã đậu nành	37,04	Bài báo này

4. Kết luận

Đã chế tạo được 12 mẫu than từ bã đậu nành và xác định được một số đặc trưng của nguyên liệu ban đầu và của 3 mẫu than bã đậu tốt nhất chế tạo được như: ảnh hiển vi điện tử quét, diện tích bề mặt riêng; điểm đẳng điện. Bước đầu khảo sát khả năng hấp phụ Cr(VI) của các mẫu than bã đậu chế tạo được, kết quả nghiên cứu cho thấy mẫu có tỉ lệ khối lượng bã đậu và thể tích dung dịch kẽm clorua 95% là 1:1, nung ở 500°C trong 1 giờ cho khả năng hấp phụ Cr(VI) cao nhất.

Sự hấp phụ Cr(VI) của mẫu than bã đậu tốt nhất đã được nghiên cứu dưới các điều kiện thí nghiệm khác nhau. Kết quả thu được:

- pH tốt nhất cho sự hấp phụ là ở khoảng pH ~2;
- Thời gian đạt cân bằng hấp phụ là 90 phút.
- Khi tăng nhiệt độ từ 303÷323K (± 1 K) thì hiệu suất và dung lượng hấp phụ tăng; quá trình hấp phụ Cr(VI) trên than bã đậu là quá trình hấp phụ hóa học.
- Theo mô hình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir xác định được dung lượng hấp phụ cực đại của than bã đậu đối với Cr(VI) là 37,04 mg/g.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1]. X. Q. Ngo, "The problem of heavy metal pollution in water", 2016. [Online]. Available: <https://hoahoc.org/van-de-o-nhiem-kim-loai-nang-trong-nuoc.html>. [Accessed May 8, 2020].
- [2]. T. T. H. Dinh, "Assessment of the current state of water environment and solid waste in Man Xa aluminum recycling handicraft village, Van Mon commune, Yen Phong district, Bac Ninh province," M. S. thesis in Environmental Science, Vietnam National University of Agriculture, Hanoi 2016.
- [3]. A. A. Al-Othman, R. Naushad, and Mu, "Hexavalent chromium removal from aqueous medium by activated carbon prepared from peanut shell: adsorption kinetics, equilibrium and thermodynamic studies," *Chemical Engineering Journal*, vol. 184, pp. 238-247, 2012.
- [4]. A. J. Kumar, and H. Mohan, "Adsorption of Cr (VI) from aqueous phase by high surface area activated carbon prepared by chemical activation with ZnCl₂," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 109, pp. 63-71, 2017.
- [5]. A. Ramirez et al., "Removal of Cr(VI) from an activated carbon obtained from teakwood sawdust: kinetics, equilibrium and density functional theory calculation," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 105292-105303, 2020.
- [6]. K. Ranganathan, "Chromium removal by activated carbons prepared from Casurina equisetifolia leaves," *Bioresource technology*, vol. 73, no. 2, pp. 99-103, 2000.
- [7]. W. Cherdchoo, S. Nithettham, and J. Charoenpanich, "Removal of Cr(VI) from synthetic waste water by adsorption onto coffee ground and mix waste tea," *Chemosphere*, vol. 221, pp. 758-767, 2019.
- [8]. M. N. Le, and T. H. Vu, "Study on adsorption capacity of Cr(VI) on carbon derived from lotus stalks," *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 181, no. 05, pp. 171-177, 2018.
- [9]. T. H. P. Dang, X. L. Ha, T. T. T. Tran, T. K. N. Nguyen, T. H. Do, and N. M. Nguyen, "Preparation of graphite/red mud combination and application of it for adsorption Cr (VI) from aqueous medium," *Journal of Agriculture and Rural Development*, October issue, pp. 73-77, 2017.
- [10]. Q. Miao, Y. Tang, J. Xu, X. Liu, L. Xiao, and Q. Chen, "Activated carbon prepared from soybean straw for phenol adsorption," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 44, pp. 458-465, 2013.