

**CHẾ TẠO THAN HOẠT TÍNH TỪ VỎ CÂY CHÙM NGÂY
VÀ ỨNG DỤNG HẤP PHỤ CHÌ TRONG MÔI TRƯỜNG NƯỚC
PREPARATION OF ACTIVATED CARBON FROM**

Đến tòa soạn 18-03-2021

Dương Thị Tú Anh, Ngô Thị Mai Việt

Trường Đại học Sư phạm - Đại học Thái Nguyên

Đoàn Mạnh Cường

Khoa Công nghệ ĐT & Truyền thông- Trường ĐHCN TT & TT- Đại học Thái Nguyên

SUMMARY

**MORINGA OLEIFERA SEED POD AND ITS APPLICATIONS
FOR ADSORPTION OF LEAD FROM AQUEOUS SOLUTION**

Activated carbon was produced from Moringa Oleifera seed pod by denaturing of H_3PO_4 and Na_2CO_3 (M1), for adsorption of lead (Pb) from aqueous solution. Some physiochemical characteristics of M1 were studied by Scanning Electron Microscope (SEM) and Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) techniques. The effect of pH (3 - 7), adsorption time (30 - 180 minutes) and the amount of adsorbent (0.025 - 0.2 grams) on Pb adsorption efficiency of M1 were also studied. The results showed that the time to reach the adsorption equilibrium and the pH value, the optimal weight of M1 material for the adsorption process of 50 mL of Pb (II) solution, the 63.52 mg / L concentration was 90 minutes, 7 and 0.125grams, respectively. The maximum monolayer adsorption capacity of M1 was 78.13 mg/g, which means M1 is able to be act as a promising adsorbent for removing Pb from aqueous solutions.

Keywords: *Activated carbon, adsorption; Moringa Oleifera Seed pod; Langmuir isotherm; lead.*

1. MỞ ĐẦU

Ô nhiễm môi trường nói chung và ô nhiễm môi trường nước nói riêng bởi các ion kim loại nặng, đặc biệt là chì (Pb) đã và đang là vấn đề rất được quan tâm hiện nay không chỉ ở Việt Nam, mà còn ở nhiều nước trên Thế giới. Ở mỗi quốc gia, trong đó có Việt Nam - một trong những quốc gia đang phát triển, việc xử lý các chất gây ô nhiễm về tới hàm lượng cho phép là điều bắt buộc trước khi nguồn nước thải được thải vào nguồn tiếp nhận. Do đó việc tìm ra phương pháp nhằm loại bỏ chúng ra khỏi môi trường nước có ý nghĩa rất quan trọng. Hiện nay có nhiều phương pháp khác nhau đã được nghiên cứu và áp dụng để tách loại các ion kim loại nặng ra khỏi môi trường

nước như các phương pháp điện hóa, phương pháp hóa học, phương pháp hấp phụ. Trong đó phương pháp hấp phụ được lựa chọn và mang lại kết quả cao. Ưu điểm của phương pháp là tận dụng các phụ phẩm nông nghiệp, công nghiệp làm vật liệu hấp phụ để xử lý nguồn nước ô nhiễm. Hơn nữa nguồn nguyên liệu này rẻ tiền, sẵn có và không đưa thêm vào môi trường các tác nhân độc hại khác [1-17]. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu sự hấp phụ chì (Pb) trong môi trường nước của than hoạt tính chế tạo từ vỏ cây chùm ngây.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Hóa chất

Nước cất hai lần; NaOH rắn; $Na_2S_2O_3$ (rắn); Na_2CO_3 rắn; Dung dịch HCl 37%; Dung dịch H_3PO_4 40%; Dung dịch chuẩn $Pb(NO_3)_2$ 1000

ppm ± 2 . Tất cả hóa chất đều có độ tinh khiết PA của Merck.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Chế tạo than hoạt tính từ vỏ cây chùm ngây

Vỏ cây chùm ngây được lấy từ tháng 10 năm 2020 ở các hộ gia đình thuộc Thị trấn Sông Cầu, Đồng Hỷ, Thái Nguyên, được sử dụng để chế tạo vật liệu hấp phụ (VLHP).

Trước hết rửa sạch vỏ thân cây chùm ngây đã thu thập được bằng nước máy để loại bỏ các chất bụi bẩn, rồi rửa lại nhiều lần bằng nước cất. Sau đó sấy khô ở 105°C trong 12h. Để nguội đến nhiệt độ phòng, nghiền nhỏ, rây đến kích thước $d \leq 1\text{mm}$ thu được nguyên liệu đầu [16], ký hiệu là M0, được sử dụng để chế tạo vật liệu hấp phụ.

Biến tính nguyên liệu (M0) bằng axit H_3PO_4 40% với tỉ lệ khối lượng M0 : H_3PO_4 40% là 2:1 rồi tiến hành loại nước trong hỗn hợp bằng cách sấy qua đêm trong tủ sấy ở nhiệt độ 80°C. Sau đó, than hoá nguyên liệu ở 450°C trong 30 phút. Rửa sạch, loại bỏ muối than ở pH=7, sấy khô ở nhiệt độ 105°C đến khối lượng không đổi, thu được vật liệu ban đầu.

Tiếp tục biến tính vật liệu lần 2 với Na_2CO_3 (rắn) theo tỉ lệ khối lượng vật liệu: Na_2CO_3 là 4:1. Hoạt hoá vật liệu đã biến tính ở 750°C trong thời gian 30 phút. Rửa sạch, loại bỏ muối than ở pH=7. Sau đó sấy mẫu vừa rửa ở nhiệt độ 105°C đến khối lượng không đổi, để nguội về đến nhiệt độ phòng. Nghiền nhỏ trên rây có kích thước lỗ 2mm, thu được vật liệu hấp phụ (VLHP) từ vỏ cây chùm ngây [16], kí hiệu là M1. Vật liệu thu được, được đưa vào túi Zipper và bảo quản trong bình hút ẩm.

2.2.2. Khảo sát tính chất tính chất vật lý, đặc điểm bề mặt, hình thái học của M0 và M1

Hình thái học của M0, M1 được khảo sát bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) JEOL JSM-6500F hoạt động tại điện thế 15 kV. Thành phần của M0, M1 được xác định bằng phương pháp phổ tán xạ năng lượng (EDS). Các phép đo được tiến hành tại Viện Kỹ thuật Nhiệt đới - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Nồng độ Pb trước và sau hấp phụ được xác định bằng phương pháp AAS với kỹ thuật nguyên tử hóa bằng ngọn lửa trên máy AAS NovAA 400P (Đức) tại khoa Hóa học Trường Đại học Sư phạm - Đại học Thái Nguyên.

2.3. Nghiên cứu hấp phụ chì theo phương

pháp hấp phụ tĩnh

2.3.1. Khảo sát ảnh hưởng của pH

Cân mỗi mẫu 0,125g vật liệu M1, rồi chuyển vào các bình erlen có dung tích 100 mL. Thêm 50mL dung dịch ion Pb(II) có nồng độ đầu là 48,41 mg/L vào các bình erlen trên. Điều chỉnh pH của các dung dịch chứa ion Pb(II) đến các giá trị tương ứng lần lượt là: 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0 bằng lượng nhỏ các dung dịch NaOH 1M và HCl 1M. Tiến hành lắc trên máy lắc trong khoảng thời gian 120 phút ở nhiệt độ phòng ($25^\circ\text{C} \pm 1$) với tốc độ lắc 250 vòng/phút. Sau đó tiến hành li tâm, phân lớp hỗn hợp trong erlen với tốc độ 3000 vòng/phút, trong thời gian 10 phút. Xác định nồng độ còn lại của Pb(II) trong dung dịch thu được bằng phương pháp AAS với các điều kiện đã chuẩn hóa.

2.3.2. Khảo sát ảnh hưởng của thời gian hấp phụ

Cân mỗi mẫu 0,125g vật liệu M1, rồi chuyển vào các bình erlen 100 mL. Thêm 50mL dung dịch ion Pb(II) có nồng độ đầu là 56,02 mg/L vào mỗi bình. Điều chỉnh pH của các dung dịch chứa ion Pb(II) đến giá trị pH 5 bằng các dung dịch NaOH và HCl. Tiến hành lắc trên máy lắc với tốc độ lắc 250 vòng/phút trên máy lắc trong khoảng thời gian khác nhau từ 30 ÷ 180 phút ở nhiệt độ phòng ($25^\circ\text{C} \pm 1$). Sau đó tiến hành li tâm để phân lớp hỗn hợp và xác định nồng độ còn lại của Pb(II) trong dung dịch thu được tương tự như phần 2.3.1.

2.3.3. Khảo sát ảnh hưởng của khối lượng vật liệu M1

Đưa vào các bình erlen 100mL những khối lượng khác nhau của vật liệu M1 (thay đổi lần lượt từ 0,025- 0,2g). Thêm tiếp vào mỗi bình erlen trên, 50mL dung dịch Pb(II) có nồng độ đầu là 63,52mg/L. Điều chỉnh pH của các dung dịch chứa ion Pb(II) đến giá trị pH 5 bằng các dung dịch NaOH và HCl. Tiến hành lắc trên máy lắc với tốc độ lắc 250 vòng/phút. Sau đó tiến hành li tâm để phân lớp hỗn hợp và xác định nồng độ còn lại của Pb(II) trong dung dịch thu được tương tự như phần 2.3.1.

2.3.4. Khảo sát ảnh hưởng của nồng độ

Cho vào mỗi bình tam giác 0,125g vật liệu M1 và 50mL dung dịch Pb(II) có nồng độ đầu thay đổi lần lượt là: 44,77; 76,59; 98,97; 126,81; 142,04; 176,81; 213,86; 221,13; 252,95 (mg/L) (đã được xác định chính xác nồng độ). Điều

chỉnh pH của các dung dịch chứa ion Pb(II) đến giá trị pH 5 bằng các dung dịch NaOH 1M và HCl 1M. Tiến hành lắc trên máy lắc với tốc độ lắc 250 vòng/phút. Sau đó tiến hành li tâm để phân lớp hỗn hợp và xác định nồng độ còn lại của Pb(II) trong dung dịch thu được tương tự như phần 2.3.1.

- Dung lượng hấp phụ tính theo công thức [1, 3, 5]:

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

Trong đó: V là thể tích dung dịch (l), m là khối lượng chất hấp phụ (g), C_0 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 [1, 3, 5]:

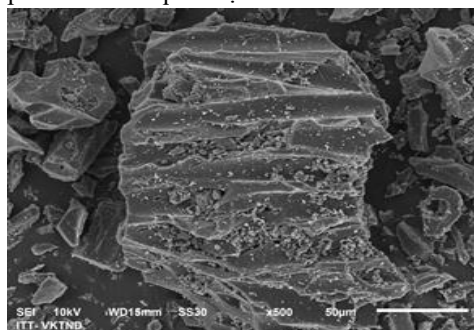
$$\frac{C_{cb}}{q} = \frac{1}{q_{\max}} \cdot C_{cb} + \frac{1}{q_{\max} \cdot b}$$

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

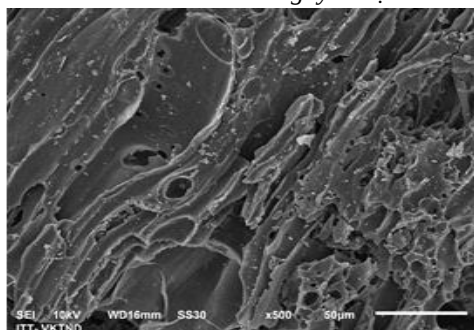
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả khảo sát đặc điểm bề mặt, thành phần của nguyên liệu M0 và vật liệu M1

Đặc điểm bề mặt, thành phần của nguyên liệu M0 và vật liệu M1 được khảo sát qua ảnh SEM và phổ EDS. Kết quả được chỉ ra trên các hình 1-4.

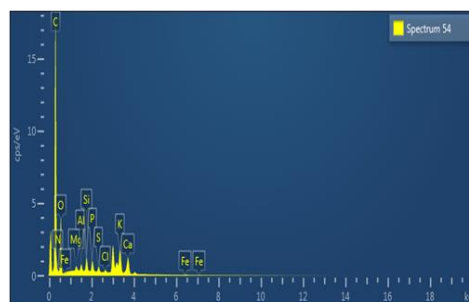


Hình 1. Ảnh SEM của nguyên liệu M0



Hình 2. Ảnh SEM của vật liệu M1

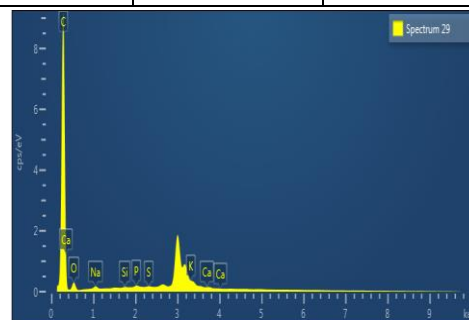
Từ hình 1, 2 nhận thấy vỏ cây chùm ngây sau khi được hoạt hóa bằng H_3PO_4 và Na_2CO_3 đã có hình thái học bề mặt thay đổi rõ rệt so với khi chưa hoạt hóa. Cụ thể, trước khi hoạt hóa (hình 1), mẫu nguyên liệu vỏ cây chùm ngây (M0) có bề mặt nhẵn, kém xốp. Sau khi được hoạt hóa hai bước H_3PO_4 và Na_2CO_3 (hình 2) đã hình thành các mao quản dạng lớp, tạo nên nhiều khoảng trống, tăng độ xốp bề mặt trên bề mặt hơn dẫn đến tiềm năng ứng dụng làm chất hấp phụ tốt hơn.



Hình 3. Phổ đồ EDS của nguyên liệu M0

Bảng 1. Kết quả phân tích EDS nguyên liệu M0

Nguyên tố	% Khối lượng	% Nguyên tử
C	55,06	63,82
O	27,25	23,71
Mg	0,30	0,17
Fe	0,18	0,04
N	9,15	9,10
S	0,48	0,21
Cl	0,13	0,05
Ca	2,51	0,87
Al	0,42	0,22
K	2,83	1,01
P	0,84	0,38
Si	0,83	0,41
Tổng cộng	100,00	100,00



Hình 4. Phổ đồ EDS của vật liệu M1

Bảng. Kết quả phân tích EDS vật liệu M1

Nguyên tố	% Khối lượng	% Nguyên tử
C	90,75	93,60
O	7,15	5,54
Ca	0,48	0,15
P	0,44	0,17
S	0,3	0,11
K	0,13	0,04
Si	0,2	0,09
Na	0,55	0,3
Tổng cộng	100,00	100,00

Kết quả phân tích phổ tán xạ năng lượng EDS được chỉ ra trong các hình 3,4 và các bảng 1, 2. Kết quả phân tích cho thấy mẫu nguyên liệu M0 có hàm lượng carbon tính theo % khối lượng là 55,06%, lượng oxy tính % khối lượng là 27,25%. Mẫu vật liệu M1 có hàm lượng carbon tính theo % khối lượng là 90,75%, lượng oxy tính theo % khối lượng là 7,15%. Điều đó cho thấy, hàm lượng C của vật liệu M1 (90,75%) cao hơn rất nhiều so với nguyên liệu M0 (55,06%); còn hàm lượng O của vật liệu M1 (7,15%) thấp hơn rất nhiều so với nguyên liệu M0 (27,25%). Như vậy, mẫu vật liệu M1 có hàm lượng carbon cao và hàm lượng oxy thấp được cho là mẫu có tiềm năng hấp phụ hiệu quả trong việc loại bỏ phẩm nhuộm, ion kim loại nặng, trong đó có Pb(II) và các chất hữu cơ khác gây chất ô nhiễm trong môi trường nước.

3.2. Một số thông số vật lý của vật liệu M1

Bảng 3. Kết quả một số thông số vật lý của vật liệu M1 (n=3)

Độ tro (%)	29,57 ± 1,06
Độ ẩm (%)	1,47 ± 0,02
Khối lượng riêng (g/cm ³)	1,42 ± 0,05

Theo tiêu chuẩn quốc gia TCVN 9068/2012 quy định về than hoạt tính có khả năng xử lý nước thải: Độ ẩm không vượt quá 8%; Khối lượng riêng lớn hơn 0,336 g/cm³; Tỷ lệ tro càng lớn càng cho hiệu quả hấp phụ cao. Từ bảng 3 cho thấy các thông số vật lý của vật liệu M1 đạt tiêu chuẩn TCVN 9068 quy định về than hoạt tính nên được sử dụng trong việc xử lý nước.

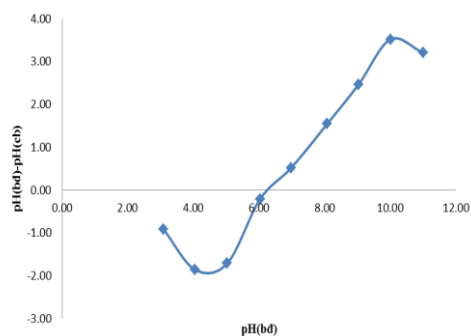
3.3. Chỉ số iot của vật liệu M1

Chỉ số iot là một tham số cơ bản được sử dụng

để đánh giá khả năng hấp phụ của than hoạt tính. Tham số này là thước đo hàm lượng mesopores của than hoạt tính (vật liệu) bằng cách hấp phụ iốt trong dung dịch. Các mesopores có khả năng làm thay đổi diện tích bề mặt riêng của than hoạt tính được tạo ra trong quá trình hoạt hóa bằng axit và bazơ. Kết quả tính được chỉ số iot của M1 là 889 mg/g, lớn hơn so với TCVN 9068/2012 (chỉ số iot lớn hơn 500mg/g). Do đó vật liệu M1 chế tạo được có khả năng hấp phụ tốt và được dùng xử lý nước thải. Vì vậy, M1 được sử dụng làm vật liệu nghiên cứu khả năng hấp phụ Pb(II) trong môi trường nước.

3.4. Xác định điểm đẳng điện của vật liệu M1

Chuẩn bị các dung dịch NaCl 0,1M có pH_{bd} được điều chỉnh tăng dần từ 3 đến 11 bằng các dung dịch HCl 1,0M và dung dịch NaOH 1,0M. Lấy 09 bình tam giác có dung tích 100mL, cho vào mỗi bình 0,05g vật liệu M1. Sau đó cho lần lượt vào các bình tam giác 50mL dung dịch có pH_{bd} tăng dần đã chuẩn bị ở trên. Để yên trong 48h, sau đó đem lọc qua giấy lọc băng xanh, lấy dung dịch và xác định lại pH (pH_{cb}) của các dung dịch trên. Sự chênh lệch giữa pH ban đầu pH_{bd} và pH cân bằng (pH_{cb}) là $\Delta pH = pH_{bd} - pH_{cb}$, vẽ đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của ΔpH vào pH_{bd}, điểm giao nhau của đường cong với trục hoành ứng với tọa độ mà tại đó giá trị $\Delta pH = 0$ cho ta điểm đẳng điện cần xác định. Kết quả từ hình 5 xác định được điểm đẳng điện của vật liệu M1 bằng 6,34. Điều này cho thấy khi pH < pH_{đđ} thì bề mặt vật liệu M1 tích điện dương, khi pH > pH_{đđ} thì bề mặt vật liệu M1 tích điện âm.



Hình 5. Đồ thị xác định điểm đẳng điện của M1

3.5. Kết quả nghiên cứu sự hấp phụ chì của vật liệu M1 theo phương pháp hấp phụ tĩnh

3.5.1. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của pH

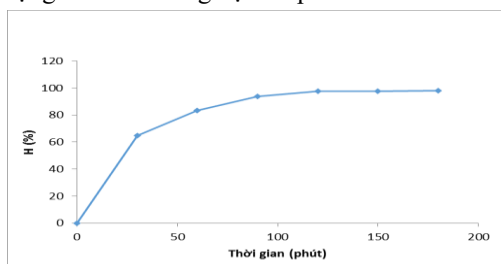
Kết quả khảo sát ảnh hưởng của pH được chỉ ra ở hình 6:

Hình 6. Đồ thị ảnh hưởng của pH đến quá trình hấp phụ Pb của vật liệu M1

Từ hình 6 cho thấy khi pH tăng hiệu suất hấp phụ và dung lượng hấp phụ đều tăng. Trong khoảng pH từ 2 ÷ 5, hiệu suất hấp phụ chì Pb (II) của M1 tăng nhanh khi tăng pH (58,97-96,36%); trong khoảng pH từ 5 ÷ 7 hiệu suất hấp phụ Pb của M1 gần như không đổi (96,36 - 96,89%). Điều này có thể giải thích như sau: khi giá trị pH < pH_{dd}, bề mặt M1 tích điện dương do có sự hấp phụ ion H⁺. Vì vậy, xuất hiện lực đẩy giữa ion Pb(II) và bề mặt chất hấp phụ. Ngoài ra, ở pH thấp hơn, nồng độ ion H⁺ lớn xảy ra sự hấp phụ cạnh tranh với các ion khác tích điện dương tại các trung tâm hấp phụ. Do đó, hiệu suất hấp phụ thấp ở giá trị pH thấp, ở giá trị pH > pH_{dd} bề mặt M1 tích điện âm do hấp phụ OH⁻. Do vậy lựa chọn pH tối ưu cho quá trình hấp phụ là 6,5.

3.5.2. Kết quả khảo sát thời gian cân bằng hấp phụ

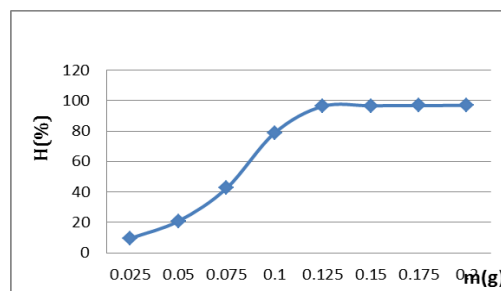
Kết quả khảo sát thời gian cân bằng hấp phụ được chỉ ra ở hình 7 cho thấy, trong khoảng thời từ 0 - 30 phút hiệu suất hấp phụ tăng tương đối nhanh; từ 30 - 90 phút tăng chậm hơn, trong khoảng thời gian 90 - 180 phút hiệu suất hấp phụ gần như không thay đổi và đạt giá trị cực đại. Do vậy, lựa chọn thời gian đạt cân bằng hấp phụ là 90 phút. Kết quả này được sử dụng cho các thí nghiệm tiếp theo.



Hình 7. Sự phụ thuộc giữa hiệu suất hấp phụ Pb của M1 và thời gian

3.5.3. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của khối lượng vật liệu M1

Kết quả ở hình 8 cho thấy khi tăng khối lượng vật liệu M1 từ 0,025 đến 0,125g hiệu suất hấp phụ Pb của M1 tăng.



Hình 8. Sự phụ thuộc hiệu suất hấp phụ chì vào khối lượng vật liệu M1

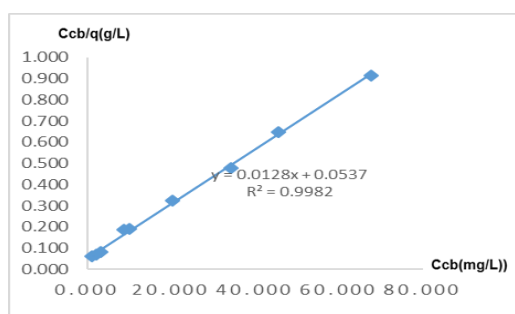
Điều này có thể lí giải do sự tăng lên của diện tích bề mặt và sự tăng lên của số vị trí các tâm hấp phụ. Nhưng dung lượng hấp phụ lại giảm là do dung lượng hấp phụ tỉ lệ nghịch với khối lượng. Tuy nhiên trong khoảng khối lượng M1 tăng từ 0,125 - 0,20 g, hiệu suất hấp phụ gần như không đổi và đạt giá trị lớn nhất (từ 96,60 - 96,81%). Vì vậy lựa chọn khối lượng vật liệu M1 bằng 0,125 g cho các nghiên cứu tiếp theo.

3.5.4. Khảo sát ảnh hưởng của nồng độ Pb ban đầu

Kết quả ở bảng 4 cho thấy khi tăng nồng độ chất bị hấp phụ thì hiệu suất hấp phụ giảm và dung lượng hấp phụ Pb tăng. Từ các kết quả thực nghiệm thu được khi khảo sát ảnh hưởng của nồng độ đầu của dung dịch Pb đến dung lượng hấp phụ của vật liệu M1, tiến hành khảo sát cân bằng hấp phụ theo mô hình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir (hình 9). Từ hình 9 xác định được dung lượng hấp phụ cực đại, $q_{\max} = 78,13$ mg/g và hằng số b = 0,24 (L/g).

Bảng 4. Sự phụ thuộc của hiệu suất và dung lượng hấp phụ vào nồng độ Pb của vật liệu M1

C _o (mg/L)	C _{cb} (mg/L)	H (%)	q (mg/g)	C _{cb} /q (g/L)
44,77	1,07	97,60	17,48	0,06
76,59	2,09	97,27	29,80	0,07
98,97	3,10	96,86	38,35	0,08
126,81	8,75	93,10	47,22	0,18
142,04	10,05	92,92	52,79	0,19
176,81	20,34	88,49	62,59	0,32
213,86	34,22	83,99	71,85	0,47
221,13	45,59	79,38	70,21	0,64
252,95	67,77	73,20	74,07	0,91



Hình 9. Sự phụ thuộc của C_{cb}/q vào C_{cb} đối với sự hấp phụ chì của vật liệu M1

4. KẾT LUẬN

1. Đã chế tạo thành công vật than hoạt tính vỏ cây chùm ngây hoạt hóa bằng H_3PO_4 40% và Na_2CO_3 (rắn).
2. Đã xác định được đặc điểm bề mặt, thành phần của M1 qua ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) và phổ tán xạ năng lượng (EDS).
3. Đã xác định được một số thông số vật lý của than M1: Độ ẩm là 1,47 %, độ tro là 29,57 %, khối lượng riêng là 1,42 g/cm³, chỉ số iot bằng 889 mg/g.
4. Đã khảo sát được một số yếu tố ảnh hưởng đến khả năng hấp phụ Pb của M1 theo phương pháp hấp phụ tĩnh cho kết quả: Thời gian đạt cân bằng hấp phụ là 90 phút. pH hấp phụ tốt nhất đối với Pb là 6,5. Trong khoảng khối lượng vật liệu hấp phụ khảo sát, khối lượng vật liệu tối ưu là 0,125g, Khi tăng nồng độ Pb trong khoảng nồng độ khảo sát thì hiệu suất hấp phụ giảm, dung lượng hấp phụ tăng.
5. Quá trình hấp phụ Pb trên vật liệu M1 tuân theo phương trình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir và xác định được dung lượng hấp phụ cực đại đối với Pb của M1 là 78,13 mg/g và hằng số b = 0,24 (L/g).

Như vậy việc sử dụng vật liệu M1 chế tạo từ vỏ cây chùm ngây để hấp phụ Pb cho kết quả tốt. Các kết quả thu được sẽ là cơ sở cho định hướng nghiên cứu nhằm ứng dụng vật liệu chế tạo từ vỏ cây chùm ngây trong việc xử lý nguồn nước bị ô nhiễm các kim loại độc hại nói riêng và các chất thải độc hại nói chung.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Adelaja O. A., Amoo I.A and Aderibigbe A.D (2011), "Biosorption of Lead (II) ions

from aqueous solution using *Moringa oleifera* pods", *Archives of Applied Science Research*, Vol. 3, No. 6, pp.50-60.

2. Adisak Keereerak, Watchanida Chinpa (2020), "A potential biosorbent from *Moringa oleifera* pod husk", *Research Article ScienceAsia* Vol. 46, No. 2, pp.186-194.

3. Affonso C. Gonçalves JuniorI; Ana P. MeneghellI, Fernanda RubioI, Leonardo StreyI; Douglas C. DragunskiII; Gustavo F. CoelhoI (2013), "Applicability of *Moringa oleifera* Lam. pie as an adsorbent for removal of heavy metals from waters", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Vol.17, No. 1, pp. 94–99.

4. Ashrith KA and Sibi G (2019), "Sorption of Heavy Metals from Aqueous Solutions by *Moringa* Biomass", *Austin Environ Sci*, Vol. 4, No. 1, pp. 1033-

5. Emmanuel F. Olasehinde, Segun M. Abegunde, Matthew A. Adebayo (2020), "Adsorption isotherms, kinetics and thermodynamic studies of methylene blue dye removal using *Raphia taedigera* seed activated carbon", *Caspian Journal Environmental Sciences*, Vol. 18, No. 4, pp 329-344.

6. Haq Nawaz Bhatti, Beenish Mumtaz, Muhammad Asif Hanif, Raziya Nadeem (2007), "Removal of Zn(II) ions from aqueous solution using *Moringa oleifera* Lam. (horseradish tree biomass)", *Process Biochemistry*, Vol. 42, No. 4 pp 547-553.

7. Irene Wangari Maina, Veronica Obuseng, and Florence Nareetsile (2016), "Use of *Moringa oleifera* (*Moringa*) Seed Pods and *Sclerocarya birrea* (*Morula*) Nut Shells for Removal of Heavy Metals from Wastewater and Borehole Water" , *Hindawi Publishing Corporation Journal of Chemistry*, <https://doi.org/10.1155/2016/9312952>.

8. Marques, T. L., Alves, V. N., Coelho, L. M., and Coelho, N. M. M. (2013), "Assessment of the use of *Moringa oleifera* seeds for removal of manganese ions from aqueous systems", *BioRes*, Vol.8, No.2, pp. 2738-2751.

9. Mubeena Akhtar, S.Moosa, Hasany, M.I. Bhanger, ShahidIqbal (2007), "Sorption

potential of *Moringa oleifera* pods for the removal of organic pollutants from aqueous solution”, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 141, No. 3, 22, pp 546-556.

10. Nor Salmi Abdullah¹, Mohd Hazwan Hussin, Syazrin Syima Sharifuddin and Muhammad Azroie Mohamed Yusof (2017), “Preparation and characterization of activated carbon from *Moringa Oleifera* Seed pod ”, *Sci.Int.(Lahore)*, Vol. 29, No.1, pp7-11.

11. Olugbenga Solomon Bello¹, Kayode Adesina Adegoke¹, Opeyemi Omowumi Akinyunni (2015), “Preparation and characterization of a novel adsorbent from *Moringa oleifera* leaf”, *Appl Water Sci*, DOI 10.1007/s13201-015-0345-4.

12. Olugbenga Solomon Bello, Bukola Morenike Lasisi, Olamide Joshua Adigun & Vunain Ephraim (2017), “Scavenging Rhodamine B dye using *moringa oleifera* seed pod”. *Chemical Speciation & Bioavailability*, Vol. 29, No.1, pp 120-134.

13. Shinomol George K, Bhanu Revathi K, Deepa N, Pooja Sheregar C, Ashwini T.S., Suchandrima Das (2016), “A Study on the Potential of *Moringa* Leaf and Bark Extract in Bioremediation of Heavy Metals from Water Collected from Various Lakes in

Bangalore”, *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 35, pp. 869 – 880.

14. O. M. Myina R. A. Wuana I. S. Eneji R. Sha’ Ato (2020), “Kinetics and Thermodynamics of Methylene Blue Adsorption on Polyfurfuryl Alcohol-Derived Templated Carbon and Activated Carbon from H₃PO₄-Impregnated *Moringa oleifera* Seed Hull ”, *Current Journal of Applied Science and Technology*, Vol. 39, No. 29, pp 124-140.

15. Ravikumar K & Udayakumar J (2019), “*Moringa oleifera* gum composite a novel material for heavy metals removal”, *International Journal of Environmental Analytical*, DOI:10.1080/03067319.2019.1686142.

16. Wombo, Itodo A, Wuana and Charles O Oseghale¹ (2018), “Adsorptive Potential of Acid Modified *Moringa Oleifera* Wastes for Tannery Effluent Decontamination”, *Journal of Chemistry: Education Research and Practice*, Vol.2, No.1, pp 1 - 8.

17. Y. X. Wang, H. H. Ngo, W. S. Guo (2015), “Preparation of a specific bamboo based activated carbon and its application for ciprofloxacin removal”, *Science of the Total Environment*, Vol. 533, No.15, pp. 32-39.