

# CHẾ TẠO THAN SINH HỌC BIẾN TÍNH BẰNG LANTHANUM NHẪM LOẠI BỎ PHOSPHATE TRONG MÔI TRƯỜNG NƯỚC

Đến tòa soạn: 21-05-2025

Vũ Khánh Chi, Trần Quốc Toàn, Phạm Như Quỳnh, Trần Thị Huế \*

Trường Đại học Sư phạm – Đại học Thái Nguyên

\*Email: huett@tnue.edu.vn

## SUMMARY

### SYNTHESIS OF LANTHANUM – MODIFIED BIOCHAR FOR REMOVAL OF PHOSPHATE FROM AQUEOUS SOLUTION

*In this study, banana stem biochar was modified using lanthanum chloride to improve the removal of phosphate from aqueous solutions. The obtained biochars were characterized by scanning electron microscopy (SEM), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), specific surface area (BET) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS). The results showed that the modification process successfully introduced lanthanum-containing functional groups into biochar and significantly improved the phosphate adsorption performance of the material. The optimum condition was found at  $pH = 4 \div 5$  and at an adsorption time of 45 min. The adsorption was fitted well with the Langmuir isotherm and the maximum adsorption capacity was calculated to be 100 mg/g.*

**Keywords:** modified biochar, lanthanum, phosphate removal, banana stem, aqueous solution.

## 1. GIỚI THIỆU

Phosphate là một khoáng chất thiết yếu cho sự phát triển của cây trồng và là thành phần phổ biến trong sản xuất công nghiệp. Phosphate trong nguồn nước thường có nồng độ thấp, nhưng trở thành nguyên tố gây ô nhiễm khi nồng độ vượt quá 0,02 mg/L. Các nguồn ô nhiễm phosphate chính trong môi trường nước bao gồm nước thải nông nghiệp, nước thải sinh hoạt và chất thải công nghiệp. Khi có quá nhiều phosphate thải ra môi trường có thể dẫn đến sự phát triển quá mức của thực vật và tảo trong nước, làm cạn kiệt oxygen hòa tan, đe dọa đến sự sống của sinh vật thủy sinh và cuối cùng hình thành phú dưỡng [1]. Mặt khác, nước có nồng độ phosphate cao khi xâm nhập vào cơ thể con người có thể gây tổn thương thận. Hơn nữa, phosphate là nguồn tài nguyên không thể tái tạo và trữ lượng khổng

phosphate toàn cầu được dự đoán sẽ cạn kiệt trong vòng 150 năm tới [2]. Do đó, cần phải khai thác một công nghệ khả thi để giảm thiểu lượng phosphate ô nhiễm.

Hiện nay, để loại bỏ phosphate khỏi nước, các nhà khoa học đã áp dụng nhiều phương pháp khác nhau như công nghệ màng [3], keo tụ [4], hấp phụ [5]. Trong đó, hấp phụ được chứng minh là một công nghệ hiệu quả và đầy hứa hẹn để ngăn ngừa và kiểm soát phú dưỡng do tính thực tiễn rộng rãi và khả năng tái chế cao [5], [6]. Nhiều vật liệu hấp phụ được sử dụng để loại bỏ phosphate, chẳng hạn như hạt nano và than sinh học (BC) [5-7]. Trong số đó, than sinh học là chất hấp phụ xốp có tiềm năng lớn để hấp phụ phosphate trong nước do chi phí thấp, nguồn dự trữ dồi dào và thân thiện với môi trường [5, 6]. Tuy nhiên, hiệu suất hấp phụ phosphate của BC nguyên thủy vẫn chưa

đạt yêu cầu do điện tích bề mặt âm và lực liên kết yếu với phosphate [8]. Ngoài ra, BC cũng có thể hấp phụ các chất ô nhiễm khác trong nước, dẫn đến tính chọn lọc kém đối với phosphate, gây hạn chế nhất định khi ứng dụng trong thực tế. Do đó, các nhà khoa học đã nghiên cứu biến tính BC để tăng cường tính chọn lọc và hiệu suất hấp phụ đối với phosphate.

Có nhiều phương pháp khác nhau để biến tính BC như pha tạp ion kim loại, ghép bề mặt và hoạt hóa hơi. Trong đó, BC biến tính Lanthanum (La) đã nhận được sự quan tâm rộng rãi do La đã thay đổi điện tích bề mặt, độ phân tán cũng như các trung tâm hấp phụ của BC, ngoài ra La thân thiện với môi trường, có hàm lượng dồi dào, liên kết giữa La và ion phosphate bền vững hơn so với các nguyên tố kim loại khác [9]. Trong bài báo này, chúng tôi thông báo kết quả chế tạo than sinh học biến tính bằng lanthanum và đánh giá khả năng loại bỏ phosphate của vật liệu trong môi trường nước.

## 2. THỰC NGHIỆM

### 2.1. Nguyên liệu

Than chuỗi thu thập tại một số nhà vườn trên địa bàn tỉnh Thái Nguyên. Các hoá chất sử dụng trong nghiên cứu gồm  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_8 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{HCl}$  và  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$  đều có xuất xứ Meck.

### 2.2. Chế tạo Biochar

Bẹ chuối lấy về đem tiến hành rửa sạch, thái nhỏ, sấy khô và nghiền mịn, sau đó tiến hành chế tạo BC theo các bước sau:

Bước 1: Nung nóng 10 gam bẹ chuối trong 15 phút, ở  $800^\circ\text{C}$  trong lò nung yếm khí thu được than chuỗi.

Bước 2: Làm nguội nhanh than chuỗi bằng nước lạnh, sau đó nghiền nhỏ than chuỗi.

Bước 3: Lọc, sấy khô than chuỗi ở  $75^\circ\text{C}$  trong 24 giờ, sau đó nghiền, rây thu được biochar (BC) kích thước 0,1 mm [10].

### 2.3. Biến tính biochar bằng $\text{LaCl}_3$

Biochar được biến tính theo quy trình tham khảo của Sabolc Pap và cộng sự [5]: thêm 50 mL nước cất 2 lần vào hỗn hợp BC và  $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  theo tỷ lệ khối lượng 1:1. Khuấy hỗn hợp trong 24 giờ ở  $75^\circ\text{C}$ , lọc, sấy ở  $70^\circ\text{C}$  trong 2 giờ. Sau khi sấy, biochar được nung trong lò nung yếm khí, gia nhiệt ở  $500^\circ\text{C}$  trong 1 giờ. Làm nguội nhanh biochar, rửa đến  $\text{pH} \approx 7$ . Sau khi rửa, sấy biochar ở  $105^\circ\text{C}$  trong 2 giờ thu được biochar biến tính bằng lanthanum (BC-La).

### 2.4. Phương pháp phân tích và đánh giá

Một số đặc tính hoá lý cơ bản của vật liệu BC, BC-La được xác định gồm phương pháp hiển vi điện tử quét SEM, phương pháp phổ tán xạ năng lượng EDX, phương pháp phổ hồng ngoại IR, phương pháp BET.

Nồng độ phosphate được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 6202:2008.

### 2.5. Khảo sát khả năng hấp phụ phosphate của vật liệu

Để đánh giá khả năng hấp phụ phosphate của vật liệu BC-La, chúng tôi tiến hành khảo sát các yếu tố ảnh hưởng bao gồm: pH của dung dịch ( $2 \div 11$ ), thời gian lắc ( $5 \div 90$  phút), lượng vật liệu sử dụng ( $0,0125 \div 0,1000\text{g}$ ), và nồng độ phosphate ban đầu ( $10 \div 300 \text{mg/L}$ ). Mỗi thí nghiệm được lặp lại ba lần trong cùng điều kiện: thể tích dung dịch hấp phụ 25 mL; khối lượng vật liệu hấp phụ 0,025 g; tốc độ lắc ổn định ở 120 vòng/phút. Nồng độ phosphate trước và sau quá trình hấp phụ được xác định bằng phương pháp phổ hấp thụ UV-Vis.

Các công thức được sử dụng để tính dung lượng hấp phụ  $q$  (mg/g) và hiệu suất hấp phụ  $H$  (%) và dung lượng hấp phụ cực đại  $q_{\max}$  (mg/g) như sau:

$$q = \frac{(C_0 - C_{cb}) V}{m} \quad (1)$$

$$H\% = \frac{(C_0 - C_{cb}) V}{C_0} \quad (2)$$

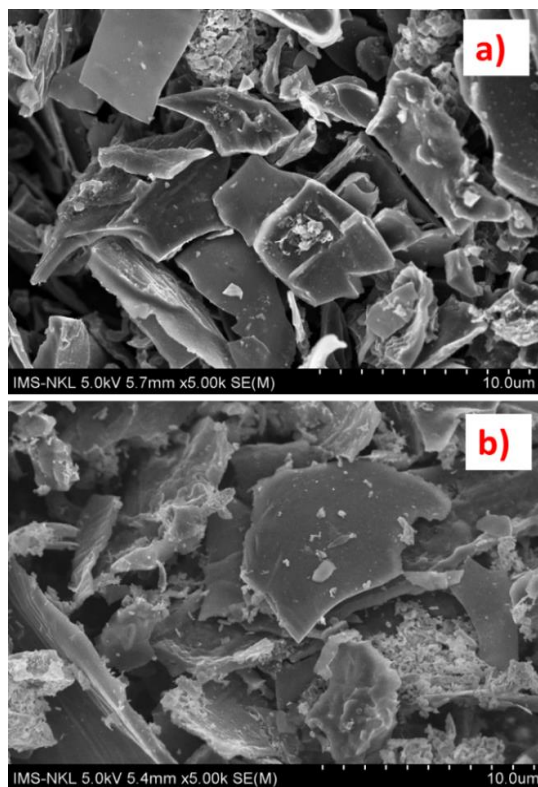
$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{q_{\max} K} + \frac{C_e}{q_{\max}} \quad (3)$$

Trong đó:  $C_0$ ,  $C_{cb}$  (mg/L) là nồng độ dung dịch ban đầu và ở trạng thái cân bằng;  $V$  (L) là thể tích dung dịch và  $m$  (g) là khối lượng chất hấp phụ sử dụng;  $K$  là hằng số Langmuir.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Kết quả xác định một số đặc trưng hoá lý cơ bản của vật liệu

##### 3.1.1. Phân tích ảnh SEM

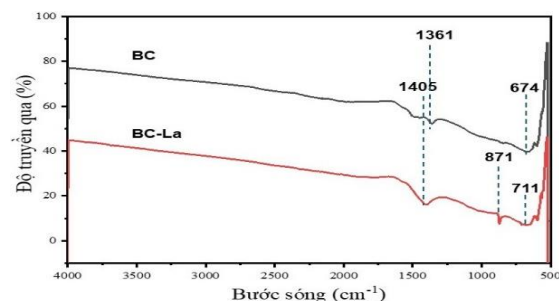


Hình 1. Ảnh SEM a) BC, b) BC-La

Kết quả xác định hình thái học bề mặt của mẫu BC và mẫu BC-La được trình bày ở hình 1. Trên hình 1a cho thấy, bề mặt của BC chứa nhiều khe rỗng; sau khi được pha tạp, bề mặt của BC-La (hình 1b) chứa nhiều khe rỗng và xuất hiện các đám tinh thể chứa La phân tán trên bề mặt BC, giúp cung cấp nhiều tâm hoạt động cho quá trình hấp phụ [11].

##### 3.1.2. Phân tích phổ hồng ngoại (IR)

Kết quả phổ IR ở hình 2 cho thấy, xuất hiện vân phổ ở số sóng 1361-1405  $\text{cm}^{-1}$  và 674-711  $\text{cm}^{-1}$  được quy gán cho liên kết C=C và C-H trong hợp chất vòng thơm của biochar. Phổ IR của BC-La xuất hiện peak ở số sóng 711  $\text{cm}^{-1}$  đặc trưng cho liên kết La-OH, kết quả này cho thấy La đã được ghép thành công lên BC [11] và phù hợp với kết quả SEM đã đưa ra.

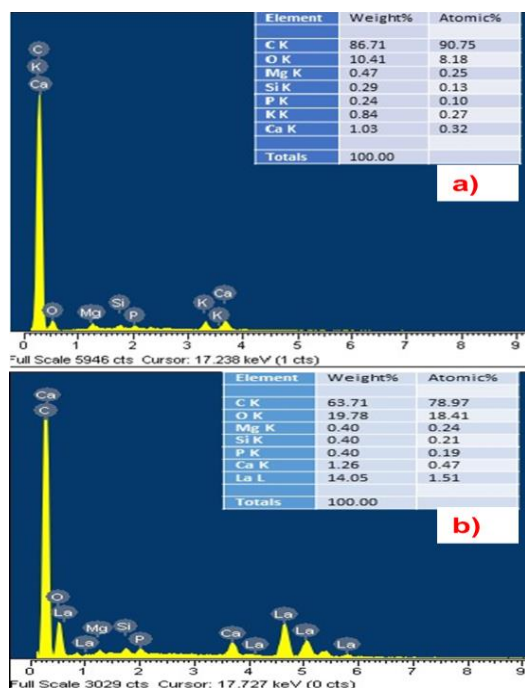


Hình 2. Phổ IR của BC, BC-La

##### 3.1.3. Phân tích phổ tán xạ năng lượng (EDX)

Hình 3 trình bày kết quả phân tích phổ EDX của vật liệu BC và BC-La.

Kết quả cho thấy BC có hàm lượng carbon, oxygen tính theo khối lượng lần lượt là 86,71 % và 10,41%, không chứa La. Trong khi đó, phổ EDX của BC-La xuất hiện peak đặc trưng của La. Mẫu BC-La chứa thành phần chính là C, O, La với khối lượng tương ứng lần lượt là 63,71 %; 19,78% và 14,05%. Kết quả này xác nhận sự có mặt của La trong vật liệu BC - La và phù hợp với các kết quả IR, SEM ở trên.



Hình 3. Phổ EDX của (a) BC và (b) BC-La

### 3.1.4. Phân tích điện tích bề mặt riêng (BET)

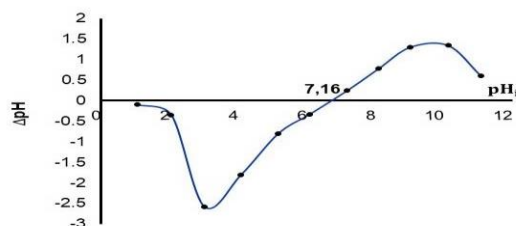
Kết quả bảng 1 cho thấy, vật liệu BC-La có diện tích bề mặt riêng và thể tích lỗ xốp lớn hơn so với BC chứng tỏ quá trình hoạt hóa đã làm tăng thể tích lỗ xốp và tăng diện tích bề mặt riêng của BC. Từ kết quả phân tích điện tích bề mặt riêng của vật liệu BC-La, có thể dự đoán việc biến tính BC bằng La có ảnh hưởng đến tính chất cơ lý, độ xốp và khả năng hấp phụ của vật liệu.

Bảng 1. Kết quả đo diện tích bề mặt, đường kính, thể tích lỗ xốp của BC và BC-La

| Vật liệu | Diện tích bề mặt riêng (m <sup>2</sup> /g) | Đường kính lỗ xốp (nm) | Thể tích lỗ xốp (cm <sup>3</sup> /g) |
|----------|--------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| BC       | 498,61                                     | 4,44                   | 0,067                                |
| BC-La    | 593,90                                     | 4,15                   | 0,148                                |

### 3.1.5. Xác định điểm đẳng điện của BC-La

Kết quả xác định điểm đẳng điện của vật liệu BC-La thể hiện trên hình 4 cho thấy giá trị điểm đẳng điện của BC-La là 7,16.



Hình 4. Đồ thị xác định điểm đẳng điện của BC-La

## 3.2. Đánh giá khả năng hấp phụ phosphate của BC-La

### 3.2.1. So sánh khả năng hấp phụ của BC và BC-La đối với ion phosphate

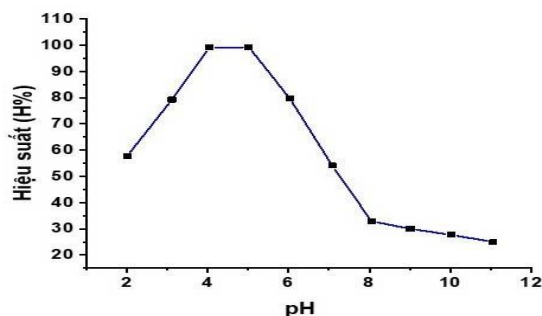
So sánh khả năng hấp phụ phosphate giữa BC và BC-La (bảng 2) cho thấy vật liệu BC-La có khả năng hấp phụ phosphate vượt trội hơn so với BC. Kết quả này là tương thích với các phân tích đặc trưng bề mặt của hai vật liệu ở mục 3.1.

Bảng 2. Kết quả khảo sát khả năng hấp phụ ion phosphate của BC và BC-La

| Mẫu than | C <sub>0</sub> (mg/L) | C <sub>cb</sub> (mg/L) | H%    | q (mg/g) |
|----------|-----------------------|------------------------|-------|----------|
| BC       | 24,85                 | 22,40                  | 9,85  | 2,45     |
| BC - La  | 24,85                 | 0,093                  | 99,63 | 24,75    |

### 3.2.2. Ảnh hưởng của pH

Tiến hành khảo sát ảnh hưởng của pH đến khả năng hấp phụ phosphate của vật liệu BC-La. Kết quả được thể hiện trên hình 5.

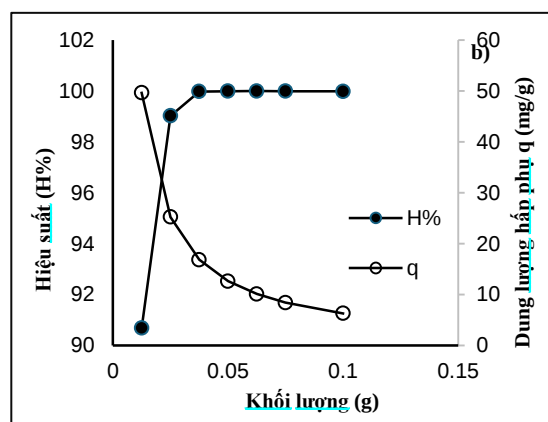
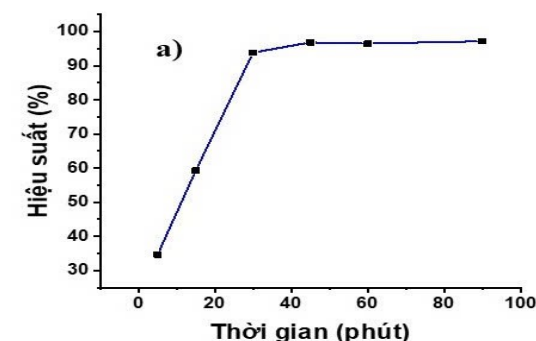


Hình 5. Ảnh hưởng của pH đến hiệu suất hấp phụ phosphate của vật liệu

Từ kết quả ở hình 4 nhận thấy, trong khoảng pH khảo sát (2-11), khi pH tăng từ 2 đến 4, hiệu suất hấp phụ của vật liệu

tăng. Tiếp tục tăng pH từ 4 đến 6 thì hiệu suất hấp phụ của vật liệu thay đổi không đáng kể. Trong khoảng pH = 6-11, hiệu suất hấp phụ phosphate của vật liệu giảm. Điều này có thể giải thích: điểm đẳng điện của vật liệu BC – La bằng 7,16; ở pH thấp, bề mặt vật liệu BC-La tích điện dương, dung dịch phosphate tồn tại anion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  và ion  $\text{HPO}_4^{2-}$  nên khả năng hấp phụ tăng. Ở pH cao, bề mặt vật liệu BC-La tích điện âm, mặt khác xảy ra sự hấp phụ cạnh tranh giữa ion  $\text{OH}^-$  và ion phosphate nên khả năng hấp phụ của vật liệu giảm. Từ kết quả thực nghiệm thu được, pH tối ưu được chọn cho các thí nghiệm tiếp theo là trong khoảng 4÷5.

### 3.2.3. Ảnh hưởng của thời gian



**Hình 6.** (a) Ảnh hưởng của thời gian và (b) khối lượng vật liệu đến hiệu suất hấp phụ phosphate

Tiến hành khảo sát ảnh hưởng của thời gian đến khả năng hấp phụ phosphate của vật liệu BC-La. Kết quả được thể hiện trên hình 6a. Kết quả thực nghiệm cho

thấy, hiệu suất hấp phụ phosphate của vật liệu BC-La tăng nhanh trong khoảng 15 phút đầu tiên và tăng chậm trong khoảng thời gian 15 ÷ 45 phút. Sau khoảng thời gian 45 phút, hiệu suất hấp phụ gần như không đổi. Do đó, 45 phút được chọn làm thời gian đạt cân bằng hấp phụ. Điều này được giải thích là khi bắt đầu phản ứng, quá trình hấp phụ diễn ra nhanh vì có nhiều vị trí trống. Sau một thời gian, quá trình hấp phụ chậm lại là do không đủ vị trí trống.

### 3.2.4. Ảnh hưởng của khối lượng vật liệu hấp phụ

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của khối lượng vật liệu hấp phụ đến khả năng hấp phụ phosphate được trình bày ở Hình 6b. Từ kết quả thực nghiệm có thể nhận thấy, khi khối lượng vật liệu hấp thụ tăng từ 0,0125 g lên 0,1000 g, hiệu suất loại bỏ phosphate có xu hướng tăng lên, trong khi dung lượng hấp phụ giảm. Điều này có giải thích là do khi tăng khối lượng vật liệu thì các vị trí trung tâm hấp phụ cũng tăng lên dẫn đến hiệu suất hấp phụ tăng. Tuy nhiên, khi vượt qua một ngưỡng nhất định, nếu tiếp tục tăng lượng chất hấp phụ thì lượng phosphate hấp phụ trên mỗi gam vật liệu thay đổi không đáng kể. Đáng chú ý, với khối lượng 0,025 g vật liệu, hiệu suất hấp phụ và dung lượng hấp phụ đều đạt giá trị cao. Do đó, chúng tôi chọn khối lượng 0,025 g vật liệu cho các thí nghiệm tiếp theo.

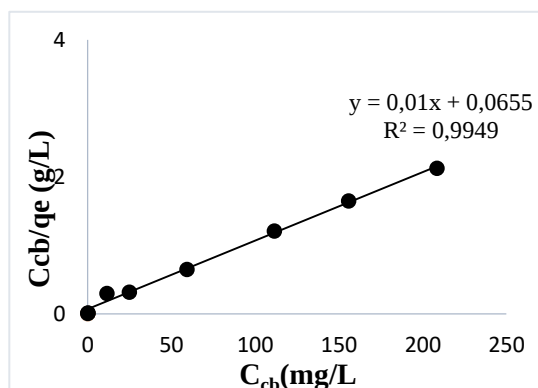
### 3.2.5. Ảnh hưởng của nồng độ ban đầu

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của nồng độ đầu đến hiệu suất hấp phụ và dung lượng hấp phụ được thể hiện trong bảng 3. Từ kết quả thực nghiệm nhận thấy, trong khoảng nồng độ khảo sát (10,05 ÷ 306,69 mg/L) khi tăng nồng độ đầu của dung dịch thì dung lượng hấp phụ phosphate của vật liệu BC-La tăng đồng thời hiệu suất hấp phụ giảm. Điều này có thể giải thích với cùng một lượng chất hấp phụ

tức số lượng vị trí tâm hấp phụ nhất định, khi nồng độ tăng lên tức các vị trí tâm hấp phụ che kín/lấp đầy tăng lên dẫn đến dung lượng hấp phụ phosphate của vật liệu BC-La tăng. Tuy nhiên, khi các vị trí tâm hấp phụ đã được lấp đầy, nếu tiếp tục tăng nồng độ phosphate thì dung lượng hấp phụ thay đổi không đáng kể. Kết quả ở hình 7 mô tả cân bằng giữa các ion hấp phụ trên chất hấp phụ và các ion trong dung dịch tại một nhiệt độ không đổi với mô hình đẳng nhiệt Langmuir. Kết quả thực nghiệm cho thấy, sự hấp phụ phosphate của BC-La được mô tả tốt theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir với hệ số hồi quy của phương trình:  $R^2 = 0,9949$ . Từ hình 7 tính được dung lượng hấp phụ cực đại:  $q_{\max} = 100 \text{ mg/g}$ .

**Bảng 3.** Ảnh hưởng của nồng độ đầu đến dung lượng và hiệu suất hấp phụ

| $C_o$<br>(mg/L) | $C_{cb}$<br>(mg/L) | $q$ (mg/g)       | H (%)            | $C_{cb}/q$<br>(g/L) |
|-----------------|--------------------|------------------|------------------|---------------------|
| 10,05           | 0,06               | $9,99 \pm 0,02$  | $99,38 \pm 0,21$ | 0,01                |
| 25,28           | 0,25               | $25,03 \pm 0,13$ | $99,02 \pm 0,45$ | 0,01                |
| 50,25           | 11,49              | $38,75 \pm 0,28$ | $77,13 \pm 0,34$ | 0,30                |
| 103,85          | 24,85              | $79,01 \pm 3,17$ | $76,08 \pm 1,13$ | 0,32                |
| 150,93          | 59,33              | $91,60 \pm 2,54$ | $60,69 \pm 1,02$ | 0,65                |
| 203,78          | 111,52             | $92,26 \pm 3,65$ | $45,27 \pm 1,45$ | 1,21                |
| 250,52          | 155,82             | $94,70 \pm 2,87$ | $37,80 \pm 0,98$ | 1,65                |
| 306,69          | 208,49             | $98,20 \pm 3,15$ | $32,02 \pm 1,38$ | 2,12                |



**Hình 7.** Sự phụ thuộc của  $C_{cb}/q$  vào  $C_{cb}$

## 4. KẾT LUẬN

Than sinh học biến tính bằng lanthanum (BC-La) đã được tổng hợp thành công. Một số đặc trưng hoá lý cơ bản của vật liệu xác định thông qua các phân tích SEM, EDX, IR và BET. Kết quả cho thấy BC-La có diện tích bề mặt riêng lớn đạt  $593,9 \text{ m}^2/\text{g}$ , biến tính vật liệu bằng lanthanum góp phần quan trọng vào hiệu quả hấp phụ của vật liệu. Vật liệu BC-La chế tạo được ứng dụng hấp phụ phosphate trong môi trường nước, với dung lượng hấp thụ cực đại đạt  $100 \text{ mg/g}$ , thời gian đạt cân bằng hấp phụ nhanh (45 phút), sự hấp phụ phù hợp tốt với mô hình đẳng nhiệt Langmuir. Cơ chế hấp phụ yếu chủ yếu được giải thích bởi tương tác tĩnh điện giữa các tâm tích điện dương trên bề mặt BC-La và các ion photphat mang điện âm. Những kết quả đạt được đã khẳng định tiềm năng tạo ra các vật liệu than sinh học trong việc xử lý hiệu quả các chất ô nhiễm trong môi trường nước, đồng thời mở ra hướng phát triển sử dụng các vật liệu hấp phụ bền vững, thân thiện với môi trường cho các ứng dụng xử lý nước thải trong tương lai.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Jupp, A.R., Beijer, S., Narain, G.C., Schipper, W., Slootweg, C.J. (2021), "Phosphorus recovery and recycling-closing the loop", *Chem. Soc. Rev*, **50**, 87–101.
- Li, X.Y., Xie, Y.H., Jiang, F., Wang, B., Hu, Q.L., Tang, Y., Luo, T., Wu, T. (2020), Enhanced phosphate removal from aqueous solution using resourceable nano-CaO/ BC composite: Behaviors and mechanisms, *Sci. Total Environ*, **709**, 136123.
- Ding, S.P., Wang, X.F. (2023), "Terbium-based metal organic framework and its immobilized nanofibrous membrane for selective detection and efficient removal of phosphate", *Chem. Eng. J.* 464, 142751.

4. Zhao, L., Ji, Y.F., Kong, D.Y., Lu, J.H., Zhou, Q.S., Yin, X.M. (2016), "Simultaneous removal of bisphenol A and phosphate in zero-valent iron activated persulfate oxidation process", *Chem. Eng. J.*, 303, 458–466.
5. Sabolc Pap, Qunying Zhao , Ilgaz Cakin a , Paul P.J. Gaffney, Stuart W. Gibb, Mark A. Taggart(2024), "Lanthanum and cerium functionalised forestry waste biochar for phosphate removal: Mechanisms and real-world applications", *Chemical Engineering Journal*, **494**, 152848.
6. Jiang, H., Li, X., Dai, Y. (2024), "Phosphoric acid activation of cow dung biochar for adsorbing enrofloxacin in water: Icing on the cake", *Environ. Pollut.*, **341**, 122887.
7. Lan, Y.B., Gai, S., Cheng, K., Li, J.S., Yang, F. (2022), "Lanthanum carbonate hydroxide/ magnetite nanoparticles functionalized porous biochar for phosphate adsorption and recovery: Advanced capacity and mechanisms study" *Environ. Res.*, **214**, 113783.
8. Liu, L.Y., Zhang, C.H., Chen, S.R., Ma, L., Li, Y.W., Lu, Y.F. (2022a), "Phosphate adsorption characteristics of La(OH)<sub>3</sub>-modified, canna-derived biochar", *Chemosphere*, **286**, 131773.
9. Luo, Z.J., Peng, X., Liang, W., W. Zhou, D., Dang, C.X., Cai, W.Q. (2023), "Enhanced adsorption of roxarsone on iron–nitrogen co-doped biochar from peanut shell: Synthesis, performance and mechanism", *Bioresour. Technol.*, **388**, 129762.
10. Tran Quoc Toan, Do Tra Huong, Tran Kim Ngan, Le Phuoc Anh, Nguyen Thi Thuy, Nguyen Nhat Huy, Dang Van Thanh, Nguyen Manh Khai, Nguyen Thi Mai (2023), "Green and Facile Synthesis of Porous SiO<sub>2</sub>@C Adsorbents from Rice Husk: Preparation, Characterization, and Their Application in Removal of Reactive Red 120 in Aqueous Solution", *ASC Omega*, **8(11)**, 9904–9918.
11. Yufan Jiang, Xiaojie Sun ,Hongxia Zhang, Qian Li, Jingjing Mo, Meiyang Xing, Bin Dong and Hongxiang Zhu. (2024), "Phosphate Removal from Polluted Water via Lanthanum-Modified Sludge Biochar", *Sustainability*, **16**, 5667.