



ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG XỬ LÝ CHẤT KHÁNG SINH TETRACYCLINE TRONG NƯỚC BẰNG THAN HOẠT TÍNH ĐƯỢC TỔNG HỢP TỪ CÂY LỤC BÌNH

PHẠM TRUNG THẾ¹, HỒ THỊ THANH VÂN¹

¹ Viện Khoa học liên ngành, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành

Tóm tắt

Trong những năm gần đây, chất kháng sinh, đặc biệt là Tetracycline (TC) đang ngày càng trở thành một chất ô nhiễm đáng lo ngại trong môi trường nước. TC được sử dụng rộng rãi trong y tế, nông nghiệp và nuôi trồng thủy sản. Sau khi sử dụng, một lượng lớn TC không được chuyển hóa hoàn toàn và thải ra môi trường thông qua nước thải, chất thải chăn nuôi,... Sự hiện diện của TC trong nước có thể gây hại cho các vi sinh vật có lợi, phá vỡ cân bằng hệ sinh thái. Việc tiếp xúc lâu dài với kháng sinh trong môi trường có thể thúc đẩy sự phát triển của các chủng vi khuẩn kháng kháng sinh và có thể đe dọa đến sức khỏe con người. Vì vậy, để góp phần giảm thiểu lượng kháng sinh trong môi trường nước, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá khả năng xử lý chất kháng sinh TC bằng than hoạt tính từ cây lục bình. Nghiên cứu trình bày việc tổng hợp than hoạt tính từ sinh khối cây lục bình bằng phương pháp nhiệt phân kết hợp hoạt hóa hóa học với KOH 1.5M và tiền chất Cobalt (II) sulfat (CoSO_4). Than hoạt tính thu được được ứng dụng để loại bỏ kháng sinh Tetracycline khỏi dung dịch nước. Kết quả phân tích diện tích bề mặt (BET) cho thấy than hoạt tính có cấu trúc xốp phát triển tốt với diện tích bề mặt riêng đạt 630.46 m²/g ở điều kiện nhiệt độ hoạt hóa 600°C. Các thí nghiệm hấp phụ được thực hiện để đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố như pH, liều lượng than hoạt tính, thời gian tiếp xúc và nồng độ TC ban đầu. Dung lượng hấp phụ TC đạt cao nhất khoảng 108.2 mg/g trong điều kiện tối ưu, cho thấy khả năng hấp phụ đáng kể của than hoạt tính tổng hợp được. Nghiên cứu này chứng minh tiềm năng của cây lục bình làm nguyên liệu thay thế hiệu quả và bền vững để sản xuất than hoạt tính.

Từ khóa: Than hoạt tính, Tetracycline, lục bình, hấp phụ.

Ngày nhận bài: 2/6/2025; Ngày sửa chữa: 5/7/2025; Ngày duyệt đăng: 15/8/2025.

Evaluation of Tetracycline antibiotic removal from water by activated carbon synthesized from water hyacinth

Abstract

In recent years, antibiotics, especially Tetracycline (TC), have increasingly become a contaminant of concern in the aquatic environment. TC is widely used in medicine, agriculture, and aquaculture. After use, a large amount of TC is not fully metabolized and is released into the environment through wastewater, livestock waste, and other sources. The presence of TC in water can harm beneficial microorganisms and disrupt the ecological balance. Long-term exposure to antibiotics in the environment can promote the development of antibiotic-resistant bacterial strains and may threaten human health. Therefore, to contribute to reducing the amount of antibiotics in the water environment, this study was conducted to evaluate the ability of activated carbon derived from water hyacinth to treat the antibiotic TC. The study presents the synthesis of activated carbon from water hyacinth biomass using a pyrolysis method combined with chemical activation with 1.5M KOH and Cobalt(II) sulfate (CoSO_4) as a precursor. The resulting activated carbon was applied to remove the antibiotic Tetracycline from aqueous solutions. The Brunauer-Emmett-Teller (BET) surface area analysis showed that the activated carbon has a well-developed porous structure with a specific surface area of 630.46 m²/g at an activation temperature of 600°C. Adsorption experiments were performed to evaluate the influence of factors such as pH, adsorbent dosage, contact time, and initial TC concentration. The maximum TC adsorption capacity reached approximately 108.2 mg/g under optimal conditions, indicating the significant adsorption capability of the synthesized activated carbon. This research demonstrates the potential of water hyacinth as an effective and sustainable alternative raw material for producing activated carbon.

Keywords: Activated Carbon, Tetracycline, Water hyacinth, adsorption.

JEL Classifications: Q55, Q56, Q57, Q58.

1. GIỚI THIỆU

Sự phát tán của các hợp chất dược phẩm, đặc biệt là kháng sinh, vào môi trường nước đã trở thành một thách thức môi trường nghiêm trọng. Kháng sinh Tetracycline (TC), với cấu trúc hóa học phức tạp và khả năng tồn dư lâu dài, là một trong những chất ô nhiễm mới nổi đáng lo ngại nhất [1]. Tetracycline (TC), một trong những loại kháng sinh được sử dụng rộng rãi nhất, được dùng để điều trị nhiễm trùng do vi khuẩn ở người và động vật. Được phát hiện vào những năm 1940, TC được biết đến là một loại kháng sinh phổ rộng có tác dụng ức chế tổng hợp protein và có hoạt tính chống lại một số lượng lớn vi khuẩn gram dương và gram âm, sinh vật không điển hình và ký sinh trùng nguyên sinh [2]. Ô nhiễm Tetracycline đang là mối đe dọa toàn cầu ngày càng gia tăng đối với đa dạng sinh học dưới nước và trên cạn do việc sử dụng chưa từng có tiền lệ của nó trong nuôi trồng thủy sản, chăn nuôi và phòng ngừa bệnh tật ở người. Sự xâm nhập của TC có thể phá hủy cấu trúc sinh thái vi sinh vật trong môi trường và gây ra mối đe dọa nghiêm trọng cho con người bằng cách làm xáo trộn chuỗi thức ăn [3]. Do đó, việc loại bỏ TC khỏi môi trường nước là rất cấp thiết.

Trong các nghiên cứu đã phát hiện các chất kháng sinh TC có mặt ở nhiều con sông trên thế giới. Nồng độ TC thấp (nd-21 ng/L) đã được tìm thấy ở sông Soeste, Đức; nồng độ oxytetracycline 56,1mg/L được phát hiện ở Colorado, Hoa Kỳ [4]; Tetracycline, oxytetracycline và doxycycline được đo trong các mẫu nước từ sông Drweca, Ba Lan, gần các trang trại nuôi cá, nồng độ trung bình lần lượt là 54,122 và 212 ng/L [5]. Mức độ ô nhiễm kháng sinh trong nước sông ở Hàn Quốc ở mức khá cao, ba chất trong nhóm TC (Tetracycline: 1420 - 254.820 ng/L; chlortetracycline: < 10 - 44,420 ng/L; oxytetracycline: < 10 - 1410 ng/L) đã được ghi nhận trong nước sông tiếp nhận chất thải từ các cơ sở ủ phân lợn tại địa phương. [6]

Trong một nghiên cứu tại Việt Nam, kháng sinh TCs được phát hiện trong các mẫu nước ở các kênh, hồ ở Hà Nội. Nồng độ TC trung bình ở mẫu nước các hồ ở Hà Nội là 116 ng/L. Đặc biệt, trong nghiên cứu phân tích mẫu nước sông Tô Lịch, sông Kim Ngưu, là hai sông nhỏ được gia cố bằng kè bê tông để đưa nước thải sinh hoạt, nước thải bệnh viện và nước mưa chảy tràn ra khỏi thành phố Hà Nội, đã phát hiện được 23 loại kháng sinh, trong đó oxytetracycline và TC được phát hiện với nồng độ trung bình lên đến 126 ng/L và 635 ng/L. [7].

Sự xuất hiện của kháng sinh TC và các sản phẩm phân hủy của chúng trong môi trường nước đã làm thay đổi hệ sinh thái, đe dọa đến các sinh vật thủy sinh. Dư lượng TC có thể làm thay đổi cấu trúc, thành phần

vi khuẩn, cũng như có thể thay đổi đặc tính, chức năng của các sinh vật, phá vỡ chu trình vi khuẩn quan trọng của hệ sinh thái thủy sinh, ức chế hoạt động vi khuẩn nitrat hóa và vi khuẩn khử nitơ, ảnh hưởng tới động vật không xương sống, cá và đặc biệt là tảo [8].

Trong các nghiên cứu về ảnh hưởng của các chất kháng sinh trong môi trường nước trên các sinh vật thủy sinh (vi khuẩn, tảo và động vật không xương sống) cho thấy tùy theo nồng độ kháng sinh ở các khu vực môi trường ô nhiễm mà có thể có những tác động có hại hoặc thậm chí rất độc. Thực nghiệm cho thấy TC có nguy cơ rất cao đối với hệ sinh thái (RQ = 101÷103), ức chế sự phát triển của tảo và vi khuẩn lam, ức chế sinh tổng hợp protein ở đơn vị ribosome 30S vi khuẩn biển Microtox [9]; TC và các chất biến đổi của TC (ETC, ATC) có thể gây ra những tổn hại về cấu trúc của tảo lam (phá vỡ hệ thống lục lạp, quá trình plasmolysis, hình thành hạt tinh bột và tăng tính thấm của tế bào), chlortetracycline và chất hữu cơ hòa tan ảnh hưởng đến sự thay đổi hoạt động của cộng đồng vi sinh vật [10].

Một số kỹ thuật đã được phát triển trong những năm gần đây để loại bỏ TC khỏi dung dịch nước. Chúng bao gồm oxi hóa bậc cao, đông tụ, phân hủy quang xúc tác, phân hủy sinh học, trao đổi ion, xử lý bằng công nghệ màng và hấp phụ. Trong số đó, hấp phụ là một công nghệ hiệu quả được sử dụng rộng rãi do các ưu điểm là dễ vận hành, chi phí thấp, hiệu quả cao và không có nguy cơ tạo ra sản phẩm phụ cực kỳ độc hại [11]. Hấp phụ bằng than hoạt tính nổi bật nhờ hiệu quả cao, tính linh hoạt và khả năng loại bỏ đa dạng các chất ô nhiễm. Diện tích bề mặt riêng lớn, cấu trúc lỗ xốp phát triển và sự đa dạng các nhóm chức bề mặt là những yếu tố chính tạo nên hiệu suất hấp phụ của than hoạt tính. Tuy nhiên, hiệu quả hấp phụ bị ảnh hưởng nghiêm trọng bởi các tính chất, bao gồm diện tích bề mặt, độ xốp và đường kính lỗ rỗng, của chất hấp phụ và chất bị hấp phụ. [12]

Mặc khác, giá thành của than hoạt tính thương mại và sự phụ thuộc vào các nguồn tài nguyên không tái tạo đã thúc đẩy nghiên cứu tổng hợp than hoạt tính từ các nguyên liệu có nguồn gốc sinh khối và chi phí thấp. Cây lục bình (LB), một loài thực vật thủy sinh xâm lấn phổ biến ở Việt Nam, có thể được tận dụng làm nguồn nguyên liệu dồi dào để sản xuất than hoạt tính.

Việc nạp vật liệu kim loại vào than sinh học có thể điều chỉnh đáng kể các tính chất bề mặt của than sinh học và thông qua các tương tác liên kết cộng hóa trị giữa chất mang than sinh học và kim loại, nó có thể giúp cải thiện độ ổn định của chất xúc tác và tăng cường thêm hoạt động xúc tác của chất xúc tác than sinh học [13]. Vì thế, nghiên cứu này tập trung vào



việc tổng hợp than hoạt tính từ thân cây lục bình bằng cách sử dụng KOH làm tác nhân hoạt hóa chính và bổ sung Cobalt(II) sulfat (CoSO_4) trong quá trình điều chế. Than hoạt tính điều chế với CoSO_4 sẽ được đặc trưng chi tiết và đánh giá khả năng loại bỏ kháng sinh TC từ dung dịch nước, nhằm khai thác tiềm năng của sinh khối LB kết hợp với việc cải thiện hiệu suất hấp phụ thông qua điều chế với tác nhân CoSO_4 .

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Vật liệu và hóa chất

Cây lục bình (LB) được sử dụng trong nghiên cứu đã được thu gom tại các kênh rạch ở khu vực xã Hóc Môn, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam. Chất kháng sinh Tetracycline Hydrochloride $\text{C}_{22}\text{H}_{24}\text{N}_2\text{O}_8 \cdot \text{HCl}$, chai 25 gram, số Cas: 64-75-5 của hãng Duchefa Hà Lan và Cobalt(II) sulfat heptahydrate ($\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), số Cas: 10026-24-1, xuất xứ Trung Quốc. Dung môi hoạt hóa được sử dụng trong nghiên cứu này là Potassium Hydroxide 85%, Chai 500G, số Cas: 1310-58-3 của hãng Xilong, Trung Quốc. Ngoài ra, Acetone (số CAS: 67-64-1, độ tinh khiết 99% của hãng Xilong, Trung Quốc và nước cất 2 lần (số CAS: 7732-18-5, Việt Nam) cũng được sử dụng. Tất cả các hóa chất được sử dụng được sử dụng một cách trực tiếp mà không cần tinh chế lại.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Chuẩn bị sinh khối lục bình

Lục bình được thu gom tại các kênh rạch ở khu vực xã Hóc Môn, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam. Phương pháp tiền xử lý như sau: Lục bình sau khi thu gom, phần lá và rễ sẽ được loại bỏ, phần còn lại sẽ được rửa sạch dưới vòi nước và cắt khúc dài khoảng 1cm. Sau đó, sấy khô trong lò ở nhiệt độ 105°C trong vòng 24 giờ để loại bỏ hoàn toàn độ ẩm. Tiếp theo, sản phẩm được nghiền mịn bằng máy nghiền thành bột và lọc qua rây kích thước lỗ là 1mm. Vật liệu sau đó được bảo quản trong tủ hút ẩm.

2.2.2. Chuẩn bị than hoạt tính từ cây lục bình

Than hoạt tính được tổng hợp bằng phương pháp nhiệt phân và hoạt hóa hóa học với dung môi KOH 1.5M. Cụ thể, CoSO_4 sẽ được trộn với bột lục bình theo một tỷ lệ phần trăm theo khối lượng. Tiếp theo, dung môi KOH sẽ được thêm vào với tỷ lệ 1 : 2 (khối lượng bột lục bình : khối lượng KOH). Hỗn hợp sau đó sẽ được sấy trong vòng vài giờ ở 105°C . Sau khi sấy hoàn tất, hỗn hợp sẽ được cho vào cốc nung và được nhiệt phân ở 600°C trong vòng 1.5 giờ. Quá trình gia nhiệt và nhiệt phân diễn ra trong môi trường N_2 với tốc độ gia nhiệt $10^\circ\text{C}/\text{phút}$. Sau khi nhiệt độ giảm về nhiệt độ phòng, than hoạt tính được lấy ra, nghiền và rây mịn. Sau đó, than hoạt tính được trung hòa bằng HCl 1M để loại bỏ KOH dư cho đến khi pH trung tính và được

rửa sạch nhiều lần với nước cất lần và acetone. Sau khi được rửa sạch hoàn toàn, mẫu được sấy khô và được bảo quản trong tủ hút ẩm.

2.2.3. Thí nghiệm hấp phụ theo mẻ

Phương pháp phân tích UV-Vis sẽ được sử dụng trong nghiên cứu này để xác định nồng độ TC ban đầu và còn lại trong dung dịch. Các dung dịch chuẩn TC có nồng độ 25 mg/L; 50 mg/L; 75 mg/L; 100 mg/L và 125 mg/L được đo mật độ quang tại bước sóng 358.5 nm. Phương trình đường chuẩn nồng độ TC sẽ có dạng:

$$A = a.C + b$$

Trong đó, A là mật độ quang, C (mg/L) là nồng độ tương ứng của TC.

Các thí nghiệm được thực hiện trong bình định mức 250 ml chứa 200 ml dung dịch TC. Lượng than hoạt tính cho vào lần lượt là 0.3 g/L, 0.4 g/L và 0.5 g/L. Phản ứng diễn ra ở nhiệt độ phòng với dãy pH 3, 5, 7, 9, 11. Phản ứng được thực hiện trên máy lắc ngang với tốc độ lắc là 150 vòng/phút. Thể tích dung dịch sẽ được rút ra sau 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 và 120 phút. Các mẫu được lọc qua giấy lọc và sau đó xác định nồng độ ở bước sóng 358.5 nm.

Hiệu suất loại bỏ TC và dung lượng hấp phụ được xác định theo công thức:

$$\text{Hiệu quả loại bỏ (\%)}: R = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100$$

$$\text{Dung lượng hấp phụ (mg/g)}: q_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{m}$$

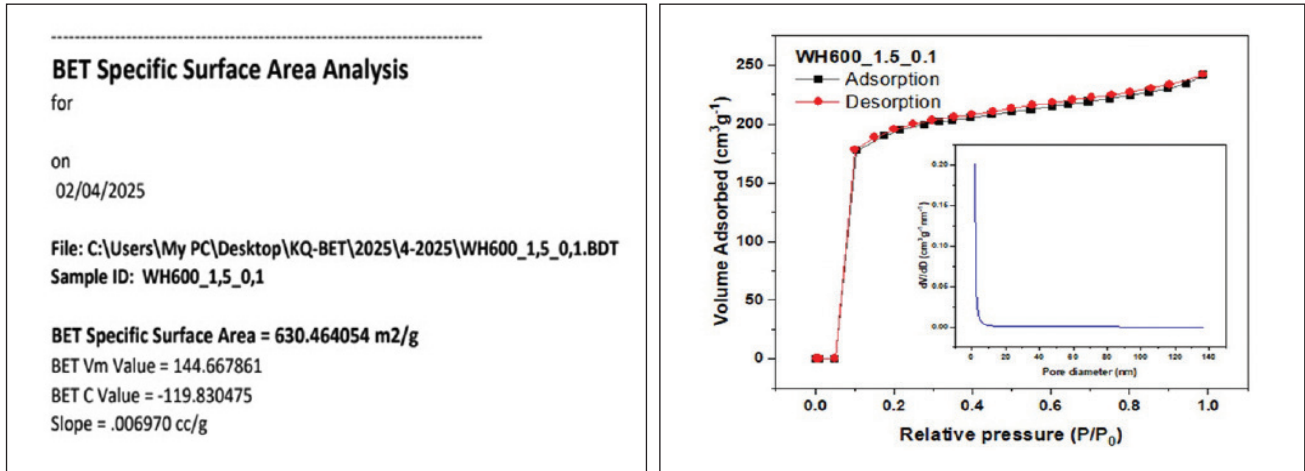
Trong đó, C_0 (mg/g) và C_e (mg/g) lần lượt là nồng độ ban đầu và nồng độ cân bằng của TC, V (L) là thể tích dung dịch, m (g) là khối lượng chất hấp phụ.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Diện tích bề mặt và kích thước lỗ rỗng của than hoạt tính

Diện tích bề mặt và kích thước lỗ rỗng của than hoạt tính được xác định bằng các thí nghiệm hấp phụ - giải hấp N_2 bằng phương pháp đo BET (Brunauer-Emmett-Teller) [14]. Hình 1a mô tả diện tích bề mặt của than hoạt tính, Hình 1b biểu thị đường đẳng nhiệt hấp phụ - giải hấp N_2 của than hoạt tính tổng hợp được (Hình 1).

Dựa vào kết quả đẳng nhiệt hấp phụ - giải hấp N_2 của than hoạt tính từ cây lục bình cho thấy sự phát triển về diện tích bề mặt và kích thước lỗ rỗng sau quá trình hoạt hóa. Diện tích bề mặt đạt được là $630.46 \text{ m}^2/\text{g}$. Mặc khác, đường đẳng nhiệt hấp phụ chứng minh rằng khả năng hấp phụ cao nhất của than hoạt tính tổng hợp được là ở tỷ số P/P0 bằng 0.98. Hình 1 cũng cho thấy thể tích lỗ xốp cao nhất của vật liệu được quan sát ở kích thước lỗ xốp khoảng 3 nm. Tóm lại, trong than hoạt tính tổng hợp được chủ yếu có cấu trúc lỗ xốp vi mô do đó sẽ làm tăng nhiều vị trí hoạt động hơn.



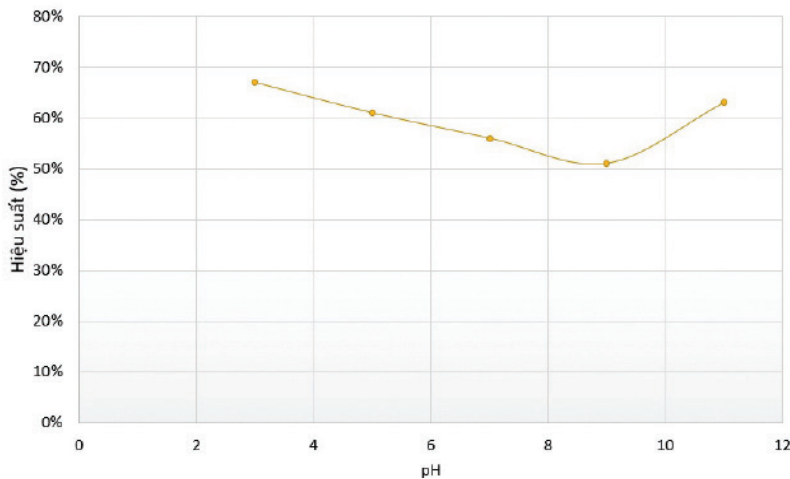
a

b

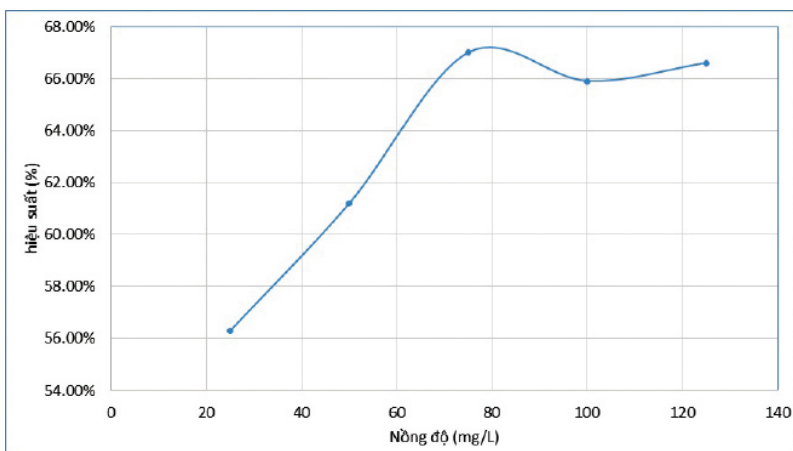
Hình 1. Kết quả phân tích BET

3.2. Ảnh hưởng của pH

Độ pH đã được chứng minh là tác động đến các đặc tính bề mặt của vật liệu và quá trình sản xuất các gốc tự do, do đó ảnh hưởng đến việc loại bỏ các chất ô nhiễm [15]. Độ pH ban đầu của dung dịch là một tham số ảnh hưởng đến hiệu quả xử lý TC. Do đó, tác động của pH ban đầu đến khả năng hấp phụ TC trên



Hình 2. Đồ thị ảnh hưởng của pH đến hiệu quả xử lý TC



Hình 3. Đồ thị ảnh hưởng của nồng độ TC ban đầu

bề mặt than hoạt tính được nghiên cứu ở các giá trị pH là 3, 5, 7, 9, 11. Phản ứng diễn ra ở nhiệt độ phòng, nồng độ TC ban đầu là 75 mg/L, lượng than hoạt tính thêm vào là 0.5 g/L và thời gian hấp phụ là 60 phút.

Từ Hình 2 có thể cho thấy khả năng hấp phụ TC cao nhất ở pH bằng 3 với hiệu quả xử lý là 67% và thấp nhất là ở pH bằng 9 với hiệu quả là 51%.

3.3. Ảnh hưởng của nồng độ TC ban đầu

Ảnh hưởng của nồng độ TC ban đầu (từ 50 mg/L đến 125 mg/L) đến hiệu quả hấp phụ của than hoạt tính từ cây lục bình được mô tả trong Hình 3. Có thể thấy, với nồng độ TC 75 mg/L thì than hoạt tính đạt hiệu suất hấp phụ cao nhất, còn khi nồng độ TC nhỏ hơn hoặc lớn hơn thì đều cho hiệu suất giảm. Điều này có thể là do trong quá trình hấp phụ, nồng độ chất ô nhiễm cao, nhiều chất hữu cơ được hấp phụ trên bề mặt của than hoạt tính làm bão hòa bề mặt vật liệu, do đó làm giảm hiệu quả hấp phụ. Ngược lại, khi nồng độ chất hữu cơ ô nhiễm quá ít, sự tương tác giữa các phân tử chất ô nhiễm và bề mặt vật liệu bị hạn chế, do đó cũng làm giảm hiệu quả phân hủy chất ô nhiễm của vật liệu. [16]

3.4. Ảnh hưởng của hàm lượng vật liệu

Nồng độ chất hấp phụ là một trong những thông số hiệu quả trong quá trình hấp phụ. Ví dụ, Hasan và cộng sự đã báo cáo trong nghiên cứu của họ rằng bằng cách tăng lượng chất hấp phụ ở giá trị pH tối ưu, người ta đã quan sát thấy khả năng

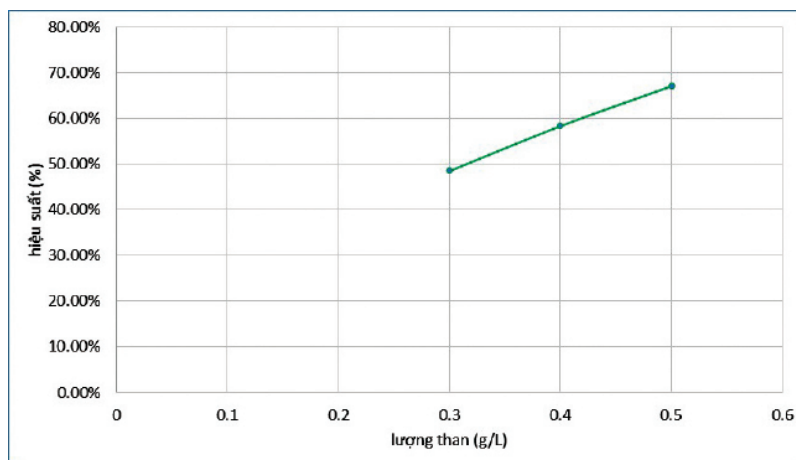


tải ion của vật liệu tăng lên và tăng hiệu quả trong quá trình hấp phụ [17]. Từ kết quả thu được trên Hình 4 cho thấy, với hàm lượng than hoạt tính 0.5 g/L thì thu được hiệu suất phân hủy kháng sinh TC cao nhất, còn ở hàm lượng than hoạt tính thấp hơn đều cho hiệu suất giảm. Điều này có thể giải thích: Khi lượng than hoạt tính tăng thì hiệu quả xử lý tăng do số lượng các vị trí hoạt động trên bề mặt than hoạt tính được tăng lên, một số lượng lớn hơn các gốc hydroxyl và các tác nhân oxy hóa mạnh khác sẽ được tạo ra để phá hủy các chất ô nhiễm hữu cơ.

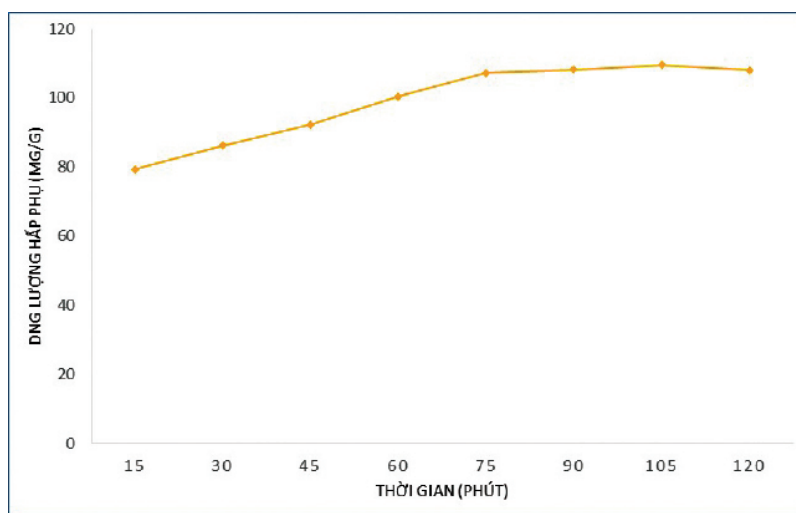
3.5. Ảnh hưởng của thời gian đến hiệu quả xử lý TC

Ảnh hưởng của thời gian đến quá trình hấp phụ TC được thực hiện bằng cách thêm 0.5 g/L than hoạt tính từ cây lục bình vào 200ml dung dịch TC có nồng độ 75 mg/L tại những khoảng thời gian từ 15 đến 120 phút (bước nhảy 15 phút) trong điều kiện pH bằng 3. Hình 5 cho thấy, ảnh hưởng của thời gian hấp phụ đến hiệu quả xử lý TC của than hoạt tính từ cây lục bình.

Từ Hình 5 có thể thấy, dung lượng hấp phụ tăng dần khi thời gian tiếp xúc tăng từ 15 phút (79.3 mg/g) đến 90 phút (108.2 mg/g). Lý do thời gian đầu tốc độ hấp phụ rất nhanh là TC có thể dễ dàng tiếp cận các nhóm chức năng có sẵn trên bề mặt của chất hấp phụ [18]. Sau đó, khi tiếp tục tăng thời gian lên 120 phút thì dung lượng hấp phụ thay đổi hầu như không đáng kể. Điều này khẳng định quá trình hấp phụ đạt trạng thái cân bằng sau 90 phút thí nghiệm. Bảng 1 cho thấy, khả năng hấp phụ TC của than hoạt tính tổng hợp được so với các nghiên cứu tương tự. Khi xem xét tài liệu, ta thấy rằng, tuy hiệu quả loại bỏ TC không thực sự cao so



Hình 4. Đồ thị ảnh hưởng của hàm lượng vật liệu đến hiệu quả xử lý TC



Hình 5. Đồ thị ảnh hưởng của thời gian đến hiệu quả xử lý TC

với các nghiên cứu trước đó. Tuy nhiên, nghiên cứu này mở ra một hướng mới nhằm đánh giá tiềm năng của cây lục bình trong việc xử lý ô nhiễm TC trong nước.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu cho thấy, tại nhiệt độ hoạt hóa 600°C, với sự bổ sung tiền chất Cobalt(II) sulfat (CoSO_4) và hoạt hóa với dung môi KOH 1.5M, than hoạt tính thu được có diện tích bề mặt là 630.46 m^2/g . Kết quả này chứng tỏ sự kết hợp tối ưu của các yếu tố trên đã tạo ra vật liệu than hoạt tính với đặc tính hấp phụ cao, mở ra tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực.

Bảng 1. Bảng so sánh với các nghiên cứu tương tự

Vật liệu	Nồng độ TC ban đầu (mg/L)	Khả năng hấp phụ (mg/g)	Tài liệu tham khảo
Than hoạt tính từ vỏ mơ	150	308.33	[19]
Than hoạt tính từ vỏ linh lăng	20	302.37	[20]
Than hoạt tính từ rơm rạ	0.5 - 32	14.16	[21]
Than hoạt tính từ lục bình	75	108.2	Nghiên cứu này

Thí nghiệm hấp phụ theo mẻ TC đã chứng minh hiệu quả loại bỏ TC theo thời gian (với dung lượng hấp phụ cực đại 108.2 mg/g ở 90 phút). Những kết quả này cho thấy, than hoạt tính được tổng hợp từ cây lục bình có thể mở ra tiềm năng ứng dụng trong xử lý nước thải, mang lại một giải pháp khả thi để loại bỏ chất ô nhiễm.

Trong các giai đoạn tiếp theo của nghiên cứu, than hoạt tính thu được có thể được nghiên cứu để loại bỏ TC khỏi nước thải trong mô hình liên tục. Hấp phụ khí thải, loại bỏ kim loại nặng và loại bỏ thuốc nhuộm cũng có thể được nghiên cứu.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Thành phố Hồ Chí Minh trong khuôn khổ đề tài mã số 2025.01.75■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Kümmerer, Klaus (2009), "The presence of pharmaceuticals in the environment due to human use—present knowledge and future challenges," *Journal of environmental management*, vol. 90.8, pp. 2354-2366.
- Sağlam, Semanur; TÜRK, Feride N.; ARSLANOĞLU, Hasan (2024), "Tetracycline (TC) removal from wastewater with activated carbon (AC) obtained from waste grape marc: activated carbon characterization and adsorption mechanism," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 31, pp. 33904-33923.
- Fiaz Ahmad, Daochen Zhu & Jianzhong Sun (2021), "Environmental fate of tetracycline antibiotics: degradation pathway mechanisms, challenges, and perspectives," *Environmental Sciences Europe volume*, vol. 33, p. 64.
- nKovalakova, Pavla, et al (2020), "Occurrence and toxicity of antibiotics in the aquatic environment: A review," *Chemosphere*, vol. 251, p. 126351.
- Danner, Marie-Claire, et al (2019), "Antibiotic pollution in surface fresh waters: Occurrence and effects," *Science of the total environment*, vol. 664, pp. 793-804.
- Awad, Yasser M., et al (2014), "Veterinary antibiotics contamination in water, sediment, and soil near a swine manure composting facility," *Environmental earth sciences*, vol. 71, pp. 1433-1440.
- Tran, Ngoc Han, et al (2019), "Occurrence and risk assessment of multiple classes of antibiotics in urban canals and lakes in Hanoi, Vietnam," *Science of the Total Environment*, vol. 692, pp. 157-174, 2019.
- Nguyen Phu Bao, Pham Hong Nhat, Dinh Quoc Tuc, Nguyen Thi Minh Hien (2022), "Occurrence and ecological risk assessment of antibiotics in water of," *Vietnam journal of hydrometeorology*, vol. 12, pp. 57-66.
- Shokoohi, Reza, et al, "Antibiotic detection in a hospital wastewater and comparison of their removal rate by activated sludge and earthworm-based vermifiltration: Environmental risk assessment," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 134, p. 16, 2020.
- Xu L., Zhang H., Xiong P., Zhu Q., Liao C., Jiang G. (2021), "Occurrence, fate, and risk assessment of typical tetracycline antibiotics in the aquatic environment: A review," *Science of the total Environment*, vol. 753, p. 141975.
- Ahmed, Muthanna J (2017), "Adsorption of quinolone, tetracycline, and penicillin antibiotics from aqueous solution using activated carbons," *Environmental toxicology and pharmacology*, vol. 50, pp. 1-10.
- Zhu, Haotian, et al (2018), "Adsorption of tetracycline antibiotics from an aqueous solution onto graphene oxide/calcium alginate composite fibers," *RSC advances*, vol. 8.5, pp. 2616-2621.
- Meng, F.; Song, M.; Wei, Y.; Wang, Y (2019), "The contribution of oxygen-containing functional groups to the gas-phase adsorption of volatile organic compounds with different polarities onto lignin-derived activated carbon fibers," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 26, pp. 7195-7204.
- E.P. Barrett, L.G. Joyner, P.P. Halenda (1951), "The determination of pore volume and area distributions in porous substances. I. Computations from nitrogen isotherms," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 73, pp. 373-380.
- Wu, S.; Hu, Y.H (2021), "A comprehensive review on catalysts for electrocatalytic and photoelectrocatalytic degradation of antibiotics," *Chem. Eng. J.*, vol. 409, p. 127739.
- Zhang J., Tian B., Wang L., Xing M., Lei J. (2018), "Photocatalysis: fundamentals, materials and applications," Springer.
- Hasan MN, Salman MS, Hasan MM, Kubra KT, Sheikh MC, Rehan AI, Rasee AI, Awual ME, Waliullah RM, Hossain MS, Islam A, Khandaker S, Alsukaibi AKD, Alshammari HM, Awual MR (2023), "Assessing sustainable lutetium(III) ions adsorption and recovery using novel composite hybrid nanomaterials," *J Mol Struct*, vol. 1276, p. 134795.
- Mohubedu RP, Diaghoya PNE, Abasi CY, Dikio ED, Mtunzi F (2019), "Magnetic valorization of biomass and biochar of a typical plant nuisance for toxic metals contaminated water treatment," *J Clean Prod*, vol. 209, pp. 1016-1024.
- Marzbali MH, Esmaili M, Abolghasemi H, Marzbali MH (2016), "Tetracycline adsorption by H3PO4-activated carbon produced from apricot nut shells: a batch study," *Process Saf Environ Prot*, vol. 102, pp. 700-709.
- Jang HM, Kan E, (2019) "Engineered biochar from agricultural waste for removal of tetracycline in water," *Biores Technol*, vol. 284, pp. 437-447.
- Wang H, Chu Y, Fang C, Huang F, Song Y, Xue X (2017), "Sorption of tetracycline on biochar derived from rice straw under different temperatures.," *PLoS One*, vol. 12(8), p. e0182776. 10.1371.