

NGHIÊN CỨU HẤP PHỤ NITRAT CỦA CHẾ PHẨM THAN SINH HỌC ĐƯỢC SẢN XUẤT TỪ CÀNH THANH LONG (*Hylocereus* sp.)

Trần Tuyết Sương¹, Huỳnh Thị Mai Anh², Đỗ Hải Sâm³, Thái Phương Vũ^{2,*}

¹ Viện Nghiên cứu Phát triển bền vững,

Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường thành phố Hồ Chí Minh

² Khoa Môi trường,

Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường thành phố Hồ Chí Minh

³ Khoa Khoa học ứng dụng,

Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường thành phố Hồ Chí Minh

*Email: tpvu@hcmunre.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá hiệu quả bỏ nitrat ra khỏi nước của than sinh học (TSH) được sản xuất từ cành thanh long. TSH được sản xuất từ quá trình nhiệt phân ở 450°C trong 120 phút có hình thái bề mặt thô, xốp và không đồng nhất, phù hợp với ứng dụng hấp phụ. Khi sử dụng 3,0 g TSH có đường kính hạt khoảng 0,054 - 0,105 mm trong 50 mL dung dịch chứa 80 mg/L nitrat ở điều kiện pH 2, thời gian tiếp xúc 60 phút và nhiệt độ phòng thì khả năng hấp phụ tối đa của TSH là 1,25 g nitrat/1 g TSH với hiệu suất loại bỏ nitrat là 93,4%. Ảnh hưởng mạnh của pH dung dịch tới hiệu suất hấp phụ thể hiện thông qua việc hiệu suất giảm đáng kể khi pH dung dịch tăng, từ đó làm nổi bật vai trò của lực hút tĩnh điện giữa bề mặt TSH tích điện dương (dưới PZC 7,6) và các anion nitrat. Quá trình hấp phụ nitrat tuân theo mô hình đẳng nhiệt Langmuir ($q_{\max} = 1,437$ mg/g) và động học bậc hai, chứng tỏ cơ chế chủ yếu là hấp phụ hóa học. Nghiên cứu này góp phần làm rõ tiềm năng ứng dụng của phụ phẩm nông nghiệp trong xử lý nitrat, đồng thời đề xuất hướng sử dụng TSH sau hấp phụ như phân bón chậm giải phóng, phù hợp với mô hình nông nghiệp tuần hoàn.

Từ khoá: Ion nitrat, hấp phụ, cành thanh long, than sinh học, xử lý nước thải.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tại khu vực Nam bộ, đặc biệt là vùng đồng bằng sông Cửu Long, nơi có hệ sinh thái đa dạng và trữ lượng thực vật phong phú, việc tận dụng các loại thực vật địa phương để nghiên cứu và sản xuất vật liệu hấp phụ như than sinh học (TSH) nhằm xử lý nước thải và hấp phụ các chất ô nhiễm đang thu hút sự quan tâm ngày càng lớn. Hiện nay, thanh long là trái cây xuất khẩu lớn nhất Việt Nam, chiếm 14,3% tỷ trọng [1 - 3]. Tuy nhiên, trong quá trình chăm sóc, khi cây thanh long đạt độ tuổi từ 4 năm tuổi trở lên sẽ xuất hiện những cành, bẹ không hữu dụng và thường được loại bỏ, cắt tỉa liên tục để đảm bảo khả năng đón ánh sáng.

Lượng cành thanh long được thải hàng năm ước tính khoảng 12 - 15 tấn và hiện nay chưa có hướng xử lý phù hợp nhằm hạn chế ô nhiễm môi trường và tận dụng nguồn phụ phẩm nông nghiệp. Trong khi đó, nhu cầu xuất khẩu thanh long đang ngày một tăng. Các kết quả nghiên cứu cho thấy, TSH có nguồn gốc từ cành thanh long nung ở 450 - 550°C có hàm lượng các bon cao (> 60%), chứa nhiều nguyên tố khoáng thích hợp sử dụng làm vật liệu hấp phụ chất thải dệt nhuộm và kim loại nặng [2, 3].

Bên cạnh đó, chăn nuôi cũng có vai trò quan trọng cho sự phát triển kinh tế - xã hội và góp phần xóa đói, giảm nghèo ở đồng bằng sông Cửu Long.

Tuy nhiên, hiện nay việc gia tăng số lượng vật nuôi để tăng hiệu quả kinh tế đã tạo ra một lượng lớn chất thải động vật bao gồm phân và nước tiểu gia súc, gia cầm giàu nitơ (urea, amoni), phân hủy thành nitrat và gây ô nhiễm nguồn nước. Do ion nitrat có độ hòa tan trong nước cao và không thể liên kết tốt với các hạt đất nên ion nitrat có thể dễ dàng xâm nhập vào nước ngầm và nước mặt. Nồng độ nitrat cao tích tụ trong các ao, hồ gây ra mối đe dọa tiềm tàng đối với hệ sinh thái dưới nước (hiện tượng phú dưỡng) và sức khỏe con người. Việc uống nước có nồng độ nitrat quá cao sẽ vô hiệu hóa hồng cầu, đặc biệt là ở trẻ em, gây ra tình trạng methemoglobinemia dẫn đến tử vong [4 - 6].

Hiện nay, các phương pháp phổ biến để loại bỏ nitrat dư thừa trong nước bao gồm phương pháp sinh học và hấp phụ. Mặc dù phương pháp sinh học có hiệu suất cao và loại bỏ nitrat triệt để nhưng cũng tiềm ẩn nguy cơ nhiễm vi khuẩn và thường bị ảnh hưởng bởi các điều kiện bên ngoài dẫn đến hiệu quả không ổn định. Ngược lại, hấp phụ là một phương pháp phổ biến và hiệu quả, ngày càng thu hút được nhiều sự chú ý vì thiết kế và vận hành đơn giản, ứng dụng rộng rãi, hiệu quả cao và khả năng tái hấp phụ tốt. Đặc biệt, nguồn vật liệu hấp phụ cũng rất đa dạng và phong phú, trong đó TSH từ phụ phẩm nông nghiệp đang là một vật liệu hấp phụ có tiềm năng lớn nhờ tính sẵn có, rẻ tiền và không độc hại [2 - 8]. Mặt khác, có thể sử dụng TSH sau khi hấp phụ nitrat như một nguồn dinh dưỡng dồi dào bổ sung cho đất. Các nghiên cứu trước đã chứng minh rằng, TSH chứa nitơ có thể kéo dài thời gian giải phóng chất dinh dưỡng và cho thấy tác động tích cực đến sinh trưởng và năng suất cây trồng trong năm thứ 2 và 3 [8].

Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm tiếp tục nghiên cứu khảo sát khả năng hấp phụ của than từ cành thanh long trên chất ô nhiễm nitrat trong nguồn nước thải chăn nuôi. Mục tiêu của nghiên cứu là đánh giá khả năng hấp phụ nitrat trong nước của TSH sản xuất từ cành thanh long thông qua các yếu tố ảnh hưởng như: pH dung dịch, khối lượng than, thời gian và nồng độ nitrat ban đầu. Từ đó, nghiên cứu góp phần phát triển một phương pháp tiết kiệm, hiệu quả để xử lý

nitrat phù hợp với điều kiện thực tế địa phương. Hướng tiếp cận này không chỉ phù hợp với điều kiện kinh tế - xã hội địa phương, mà còn góp phần thúc đẩy mô hình xử lý nước thải bền vững, tận dụng hiệu quả tài nguyên bản địa. Trên quan điểm về môi trường, việc sử dụng TSH có nguồn gốc từ các loại phụ phẩm nông nghiệp giúp giảm gánh nặng cho môi trường, đồng thời TSH sau hấp phụ nitrat đã được sử dụng hiệu quả để cải tạo đất và làm phân bón, đây là ứng dụng hấp phụ nổi bật của TSH so với các chất hấp phụ có sẵn khác.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên liệu và hóa chất

Trong nghiên cứu này, cành thanh long thu được sau khi cải tạo vườn tại phường Long An, tỉnh Tây Ninh được sử dụng để sản xuất TSH theo các nghiên cứu trước đây [2, 3]. Đặc tính của TSH tạo thành sẽ được xác định thông qua các phân tích hình thái bề mặt và điểm điện tích bằng không (PZC). Kết cấu bề mặt và độ xốp của TSH được xác định bởi kính hiển vi điện tử (SEM, Thermo Fisher Scientific, Hoa Kỳ) và máy đo độ xốp hấp phụ khí Surfer (Thermo Fisher Scientific, Surfer, Hoa Kỳ). pH đẳng điện được xác định bằng phương pháp dịch chuyển có bổ sung muối; cho 0,1 g TSH vào 6 cốc riêng biệt chứa 50 mL dung dịch NaCl 0,1 M có pH lần lượt là 2, 4, 6, 8, 10, 12. Dung dịch được khuấy 120 vòng/phút trong vòng 24 giờ ở nhiệt độ phòng. Ngoài ra, tính chất bề mặt của vật liệu được nghiên cứu trên máy quang phổ hồng ngoại biến đổi FTIR (Fourier-transform infrared spectroscopy) trên thiết bị Thermo Scientific, model Nicolet iS5, Hoa Kỳ trong vùng bước sóng 400 - 4.000 cm^{-1} .

Nước thải giả định chứa nitrat được pha chế từ KNO_3 (Xilong, Trung Quốc). Các hóa chất: NaOH và HCl được dùng để điều chỉnh pH dung dịch, axit salicylic dùng để tạo phức với nitrat có xuất xứ Merck, Đức. Nước cất 2 lần dùng để pha loãng hóa chất.

2.2. Phương pháp chế tạo than sinh học

Dựa vào các kết quả nghiên cứu của Trần Tuyết Sương và cs (2023) [2]; Đỗ Hải Sâm và cs (2023) [3], vật liệu nghiên cứu TSH thu được bằng phương pháp nhiệt phân cành thanh long trong lò

nung với mức gia nhiệt 10°C /phút cho đến 450°C và lưu ở 450°C trong lò nung 2 giờ. Nhiệt độ 450°C được lựa chọn sản xuất than bởi đây là giá trị nhiệt độ đảm bảo sự cân bằng giữa sản xuất than có hiệu quả hấp phụ cao trong điều kiện nhiệt độ lò nung không quá cao, giảm tiêu thụ năng lượng. Sau nung, than được làm nguội tự nhiên tại nhiệt độ phòng và được nghiền và rây trong khoảng kích thước 0,054 - 0,105 mm.

2.3. Thí nghiệm hấp phụ nitrat

Quá trình hấp phụ nitrat được khảo sát bằng cách sử dụng phương pháp luân phiên từng bình để xác định điều kiện tối ưu cho quá trình hấp phụ. Nghiên cứu tiến hành khảo sát các yếu tố ảnh hưởng: (1) khối lượng TSH: 0,5, 1, 2, 3, 4, 5 g; (2) thời gian hấp phụ: 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150 phút; (3) nồng độ nitrat ban đầu (tính theo N): 20, 40, 60, 80, 100, 120 mg/L; (4) giá trị pH dung dịch: 2, 4, 6, 8, 10, 12. Các thí nghiệm hấp phụ thực hiện trên máy lắc (Jeio Tech, model OS-2000, Hàn Quốc) với tốc độ lắc là 150 vòng/phút ở nhiệt độ phòng. Nồng độ nitrat ban đầu và sau quá trình hấp phụ được xác định bằng phương pháp đo quang phổ dùng axit sunfosalicylic tại bước sóng $\lambda = 410$ nm sử dụng máy UV-Vis spectrophotometer (Thermo Scientific, model Evolution 350, Hoa Kỳ).

Lượng nitrat hấp phụ trên khối lượng than tại thời điểm cân bằng (q_e , mg/g) và tại thời điểm t (q_t , mg/g), hiệu suất loại bỏ nitrat (H%) được tính toán lần lượt theo các phương trình (1), (2), (3):

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{m} \times V \quad (1)$$

$$q_t = \frac{C_0 - C_t}{m} \times V \quad (2)$$

$$H\% = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (3)$$

Trong đó: m (g) là khối lượng than; V (L) là thể tích dung dịch hấp phụ; C_0 , C_e và C_t (mg/L) lần lượt là nồng độ nitrat tại thời điểm ban đầu, thời điểm cân bằng và thời điểm t .

Mô hình đẳng nhiệt

Cân bằng hấp phụ nitrat trên TSH được đánh giá với 2 mô hình hấp phụ phổ biến là mô hình đẳng nhiệt Langmuir (phương trình 4) và đẳng nhiệt Freundlich (phương trình 5) dựa trên nghiên

cứ khảo sát ảnh hưởng của nồng độ nitrat ban đầu trong dung dịch hấp phụ [4].

$$\text{Langmuir} \quad \frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_{\max}} + \frac{C_e}{q_{\max}} \quad (4)$$

$$\text{Freundlich} \quad \ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (5)$$

Trong đó: $q_{\max}$ là dung lượng hấp phụ cực đại (mg/g); K_L là hằng số hấp phụ Langmuir (L/mg) đặc trưng cho ái lực của tâm hấp phụ; K_F ($\text{mg}^{(1-1/n)} \cdot \text{L}^{1/n} \cdot \text{g}^{-1}$) và $1/n$ là các hằng số của phương trình đẳng nhiệt Freundlich.

Động học hấp phụ

Động học hấp phụ được xây dựng dựa các nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian hấp phụ đến hiệu suất hấp phụ, là một thông số quan trọng trong việc áp dụng các quá trình hấp phụ vào xử lý nước thải, bởi vì mô hình động học hấp phụ có thể được sử dụng để dự đoán tốc độ tách loại chất ô nhiễm khỏi dung dịch nước. Các mô hình thường được sử dụng để mô tả ảnh hưởng của đặc tính hóa lý và pha dị thể đến nghiên cứu động học: Biểu kiến bậc 1, biểu kiến bậc hai [4, 7].

Phương trình động học biểu kiến bậc 1:

$$q_t = q_e (1 - \exp^{-k_1 t}) \quad (6)$$

Phương trình động học biểu kiến bậc 2:

$$q_t = \frac{q_e^2 k_2 t}{1 + q_e k_2 t} \quad (7)$$

Trong đó: k_1 là hằng số tốc độ hấp phụ biểu kiến bậc 1 (ph^{-1}); k_2 là hằng số tốc độ hấp phụ biểu kiến bậc hai (g/mg.ph).

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc tính của than sinh học

3.1.1. Cấu trúc bề mặt của than sinh học

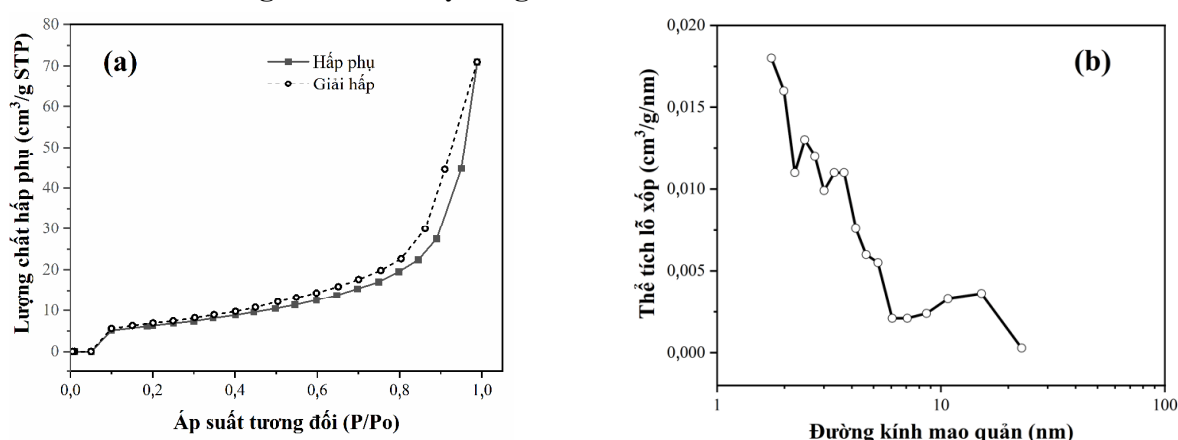
Kết quả đo diện tích bề mặt riêng thể hiện ở bảng 1 và hình 1 cho thấy, TSH được sản xuất từ cành thanh long có diện tích bề mặt riêng và kích thước lỗ xốp lần lượt là 23,53 m^2/g và 18,58 nm. Dải phân bố mao quản của than từ 2 - 20 nm. Nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng, mao quản trung bình là kích thước lý tưởng cho nhiều quá trình hấp phụ và hấp thụ vì nó cho phép các chất khuếch tán dễ dàng hơn so với mao quản siêu nhỏ [4, 7].

Bảng 1. Một số tính chất lý hóa của TSH được sản xuất từ cành thanh long

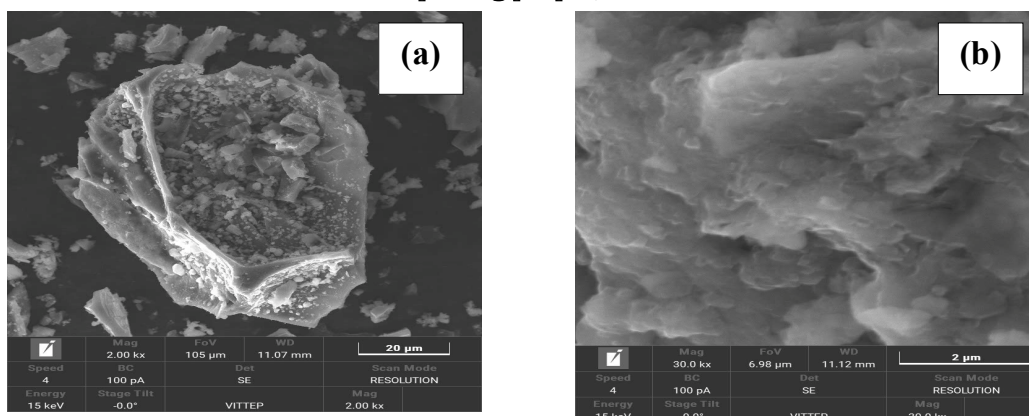
Diện tích bề mặt riêng (m ² /g)	Kích thước lỗ xốp (nm)	Các bon (%)	Ôxy (%)	Clơ (%)	S (%)	Điểm đẳng điện (pH _{pzc})
23,53	18,58	74,61	21,59	2,8	0,98	7,6

Hình thái bề mặt thể hiện qua ảnh SEM ở độ phóng đại khác nhau trong hình 2 cho thấy vật liệu hấp phụ có cấu trúc dạng thớ, gồ ghề và kích thước không đồng đều. Cấu trúc này là do thành phần chính của than gồm: Lignin, cellulose và hemicellulose. Cấu trúc hình thái tương tự của TSH từ cành thanh long có thể tìm thấy trong các

nghiên cứu liên quan đến TSH có nguồn gốc từ cây xương rồng [2, 9]. Kết quả thành phần hóa học TSH (SEM-EDX) trình bày ở bảng 1 cho thấy, than có thành phần chính là các bon, ngoài ra còn có ôxy nằm ở các nhóm chức – bề mặt như hydroxyl, carboxyl, carbonyl, một số nguyên tố khác như: Cl, S...



Hình 1. (a) Đường đẳng nhiệt hấp phụ và giải hấp N₂ ở 77K và (b) phân bố kích thước lỗ xốp theo phương pháp BJH



Hình 2. Hình ảnh SEM của TSH ở độ phóng đại: (a) 2.000x và 30.000x

3.1.2. Nhóm chức và điểm đẳng điện của TSH

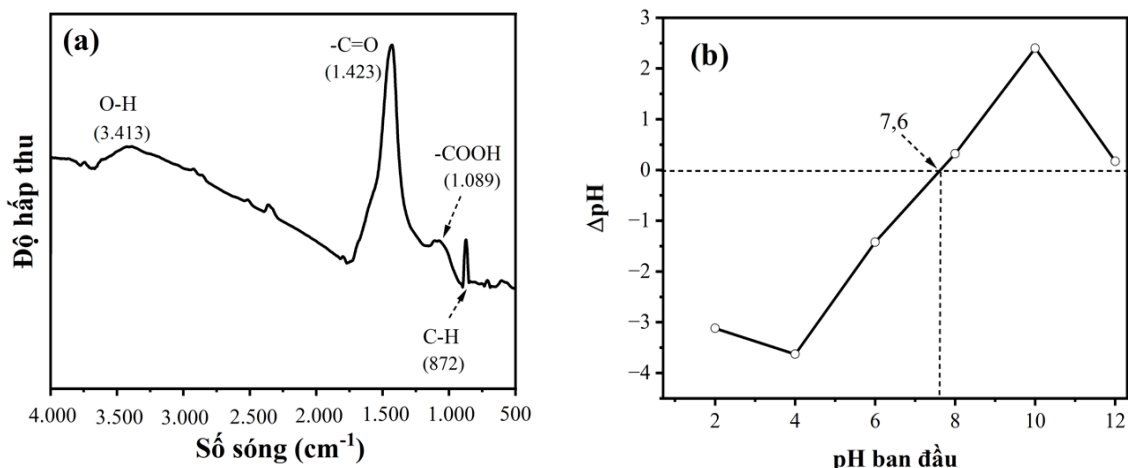
Phổ FTIR của TSH được quét trong vùng dao động từ 4.000 - 400 cm⁻¹. Hình 3a cho thấy, trên bề mặt than tồn tại dao động của các nhóm O-H (3.413 cm⁻¹) có trong alcohol, phenol và axit cacboxylic. Các dải sóng tại 1.423 cm⁻¹, 1.089 cm⁻¹, 872 cm⁻¹ lần lượt biểu thị sự có mặt của nhóm chức

ceton (-C=O), cacboxylate (-COOH) và -C-H. Các kết quả nghiên cứu trước đây cho thấy, họ vật liệu này có khả năng hấp phụ rất tốt nitrat do tương tác giữa các nhóm chức chứa ôxy trên bề mặt than với các phân tử nitrat [4, 7].

Kết quả ở hình 3b cho thấy, TSH có pH_{pzc} khoảng 7,6. Điều này có nghĩa là dưới pH 7,6, bề

mặt chủ yếu mang điện tích dương do proton hóa, trong khi trên pH 7,6 sự khử proton tạo ra bề mặt mang điện tích âm. Tính chất điện tích bề mặt này rất quan trọng đối với sự hấp phụ các hợp chất anion NO_3^- vốn chiếm ưu thế trong điều kiện axit. Điện tích dương của TSH ở pH < 7,6 tạo điều kiện

cho lực hút tĩnh điện với các anion này, giúp tăng hiệu quả loại bỏ. Quan sát này phù hợp với kết quả FTIR trong hình 3a, cho thấy các nhóm chức oxy hóa góp phần hơn nữa vào quá trình hấp phụ nitrat thông qua tương tác tĩnh điện và phản ứng oxy hóa khử.

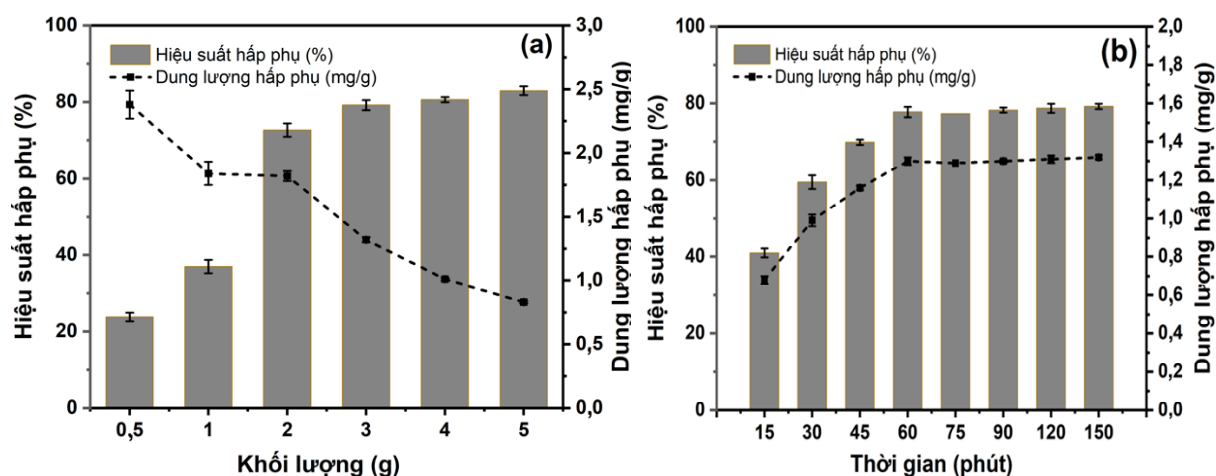


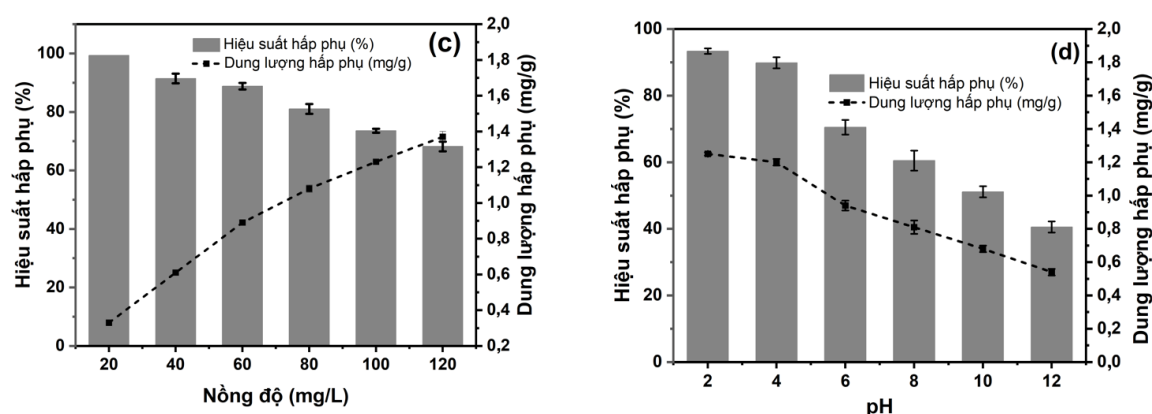
Hình 3. (a) Phổ FTIR và (b) pH đẳng điện của TSH

3.2. Ảnh hưởng các yếu tố đến hấp phụ

Hình 4a cho thấy, khi tăng khối lượng than từ 0,5 g lên 3,0 g, dung lượng hấp phụ giảm từ 2,38 mg/g xuống 1,32 mg/g, hiệu suất tăng nhiều từ 23,8 - 79,2% với nồng độ $\text{NO}_3\text{-N}$ ban đầu là 100 mg/L và thời gian hấp phụ 120 phút, tương ứng với sự tăng các tâm hoạt động khi khối lượng chất hấp phụ tăng [4, 8]. Mối liên hệ nghịch đảo này có thể phát sinh từ việc sử dụng không đầy đủ các vị trí hoạt động ở khối lượng than cao hoặc sự kết tụ các

hạt làm giảm diện tích bề mặt hấp phụ, dẫn đến lượng nitrat hấp phụ trên một đơn vị diện tích lại giảm [8]. Hiệu suất hấp phụ sau đó tăng không đáng kể và ổn định khi lượng chất hấp phụ tiếp tục tăng > 3,0 g, cho thấy dấu hiệu của hiện tượng bão hòa hay chồng lấp các vị trí hấp phụ. Do đó, liều lượng tối ưu về chi phí vật liệu là 3,0 g than, hiệu suất và dung lượng hấp phụ của TSH lần lượt là 79,2% và 1,32 mg/g.





Hình 4. Ảnh hưởng của (a) khối lượng than, (b) thời gian hấp phụ, (c) nồng độ $\text{NO}_3\text{-N}$, (d) pH dung dịch đến quá trình hấp phụ nitrat trong nước

Ngược lại, với tăng khối lượng vật liệu, hình 4b minh họa quá trình hấp phụ nitrat lên TSH được thực hiện với $\text{NO}_3\text{-N}$ ban đầu là 100 mg/L và 3,0 g TSH. Kết quả cho thấy, khi thời gian hấp phụ tăng thì hiệu suất hấp phụ và dung lượng hấp phụ nitrat cũng tăng theo. Trong khoảng thời gian khảo sát từ 15 - 150 phút, hiệu suất hấp phụ tăng nhanh ở 30 phút đầu, sau đó tăng dần và gần như ổn định từ 60 phút và hiệu suất đạt giá trị trong khoảng 78 - 79%. Tương tự, dung lượng hấp phụ cũng gần như không đổi, dao động quanh mức 1,30 - 1,32 mg/g . Sự chứng lại này cho thấy quá trình hấp phụ đã tiến dần đến trạng thái cân bằng hấp phụ, phần lớn các tâm hấp phụ đã bị bão hòa và tốc độ hấp phụ giảm mạnh [2, 4, 8]. Từ góc độ ứng dụng thực tế, thời gian hấp phụ khoảng 60 phút được xác định là thời gian tối ưu để đạt hiệu suất loại bỏ nitrat cao mà không kéo dài thời gian vận hành không cần thiết.

Ngoài ra, kết quả khảo sát quá trình hấp phụ với nồng độ nitrat ban đầu thay đổi từ 20 - 120 mg/L khi sử dụng 3,0 g TSH trong 60 phút. Hình 4c cho thấy, khi nồng độ nitrat tăng thì dung lượng hấp phụ tăng từ 0,33 - 1,37 mg/g còn hiệu suất hấp phụ giảm dần từ 99,3% xuống 68,2%. Xu hướng này là do số lượng vị trí hoạt động có sẵn cố định trên khối lượng TSH không đổi, nồng độ ban đầu cao hơn dẫn đến quá trình bão hòa vị trí nhanh hơn, do đó làm giảm khả năng hấp phụ nitrat. Để đạt được dung lượng và hiệu suất hấp phụ đồng thời cao, nồng độ $\text{NO}_3\text{-N}$ thích hợp được chọn trong khoảng

20 - 80 mg/L . Tại nồng độ $\text{NO}_3\text{-N}$ 80 mg/L , dung lượng và hiệu suất hấp phụ đạt 1,08 mg/g và 81% tương ứng. Thông thường, nước thải nông nghiệp hoặc thủy sản có nồng độ $\text{NO}_3\text{-N}$ nằm trong khoảng 50 - 120 mg/L , việc chọn 80 mg/L giúp mô phỏng sát thực tế hơn và kiểm định hiệu năng của than trong điều kiện gần với ngưỡng ô nhiễm phổ biến [10].

pH dung dịch làm thay đổi tính chất bề mặt của chất hấp phụ, do đó sẽ ảnh hưởng nhiều đến việc loại bỏ ion nitrat. Hình 4d trình bày ảnh hưởng của pH dung dịch trong điều kiện sử dụng 3,0 g TSH trong 50 mL $\text{NO}_3\text{-N}$ 80 mg/L ở 60 phút, hiệu suất loại bỏ cao nhất 93,4% và khả năng hấp phụ 1,25 mg/g đạt được ở pH là 2. Khi pH tăng từ 2 - 12, hiệu suất và dung lượng hấp phụ đều giảm. Kết quả này được giải thích, là do trong môi trường axit, TSH bị proton hóa, khi đó bề mặt của hạt sẽ tích điện dương làm tăng lực hút tĩnh điện giữa các ion H^+ trên bề mặt than và ion nitrat tích điện âm, tuy nhiên khi pH tăng dần, mật độ tích điện dương giảm dần và các ion OH^- cạnh tranh cản trở sự hấp phụ. Ở giá trị pH trong khoảng 2 - 4, khả năng hấp phụ nitrat tương đối tốt, với hiệu suất và dung lượng hấp phụ tương ứng đạt > 90 và khoảng 1,2 mg/g . Kết quả tương tự cũng có trong nghiên cứu các cấu liên quan đến hấp phụ nitrat [6, 7].

Các thí nghiệm khảo sát khối lượng vật liệu, thời gian tiếp xúc, nồng độ ban đầu và pH dung dịch được tiến hành để xác định điều kiện tối ưu cho quá trình hấp phụ nitrat (Bảng 2).

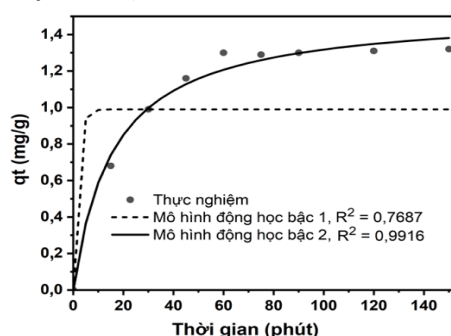
Bảng 2. Điều kiện tối ưu của quá trình hấp phụ nitrat bằng TSH

Thông số	Khoảng khảo sát	Giá trị tối ưu	Hiệu suất loại bỏ (%)	Dung lượng hấp phụ (mg/g)
Khối lượng (g)	0,5 - 5,0	3,0	79,3	1,32
Thời gian (phút)	15 - 150	60	79,0	1,30
Nồng độ NO_3^- -N (mg/L)	20 - 120	80	81,0	1,08
pH dung dịch	2 - 12	2 - 4	93,4	1,25

3.3. Mô hình động học quá trình hấp phụ nitrat lên than

Động học quá trình hấp phụ được đánh giá thông qua 2 mô hình động học biểu kiến là bậc nhất và bậc hai dựa vào kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian hấp phụ. Các kết quả được thể hiện trong hình 5 và bảng 3 cho thấy, mô hình động học biểu kiến bậc hai phù hợp hơn với dữ liệu thực nghiệm. Kết quả tính toán các thông số ở bảng 2 cũng cho thấy, giá trị q_e tính theo phương trình động học biểu kiến bậc hai (1,40 mg/g) gần với giá trị q_e xác định từ thực nghiệm (1,44 mg/g) hơn và giá trị $R^2 \approx 0,9916$ vượt trội hơn mô hình bậc một ($R^2 \approx 0,7687$). Giá trị R^2 tương đối cao trong mô hình động học bậc 2 cho thấy, mô hình mô tả thành công động học loại bỏ nitrat bằng phương pháp hấp phụ. Điều này cho thấy, tốc độ hấp phụ

được kiểm soát bởi hấp phụ hóa học và khả năng hấp phụ tỷ lệ thuận với số lượng vị trí hoạt động trên chất hấp phụ. Kết quả này cũng tương đồng với kết quả các nghiên cứu sự hấp phụ nitrat lên TSH có nguồn gốc từ chất thải nông nghiệp [5], cành cây táo [7], bã mía [8].



Hình 5. Phương trình động học hấp phụ biểu kiến bậc 1 và bậc 2

Bảng 3. Các giá trị k và q_e tính theo phương trình động học biểu kiến bậc một và bậc hai

Phương trình động học	q_e (mg/g)	k_1 (1/phút)	k_2 (g/mg.phút)	R^2
Bậc 1	0,66	0,015	–	0,7687
Bậc 2	1,40	–	0,512	0,9916

Bên cạnh đó, đẳng nhiệt của quá trình hấp phụ nitrat được đánh giá qua hai mô hình hấp phụ phổ biến là mô hình đẳng nhiệt Langmuir và đẳng nhiệt Freundlich dựa trên kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ nitrat trong dung dịch ban đầu. Kết quả ở bảng 4 cho thấy, quá trình hấp phụ

nitrat của TSH tuân theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir (hấp phụ đơn lớp) khi mức độ tuyến tính đạt giá trị $R^2 \approx 0,9849$ và dung lượng hấp phụ cực đại đạt 1,437 mg/g. Kết quả nghiên cứu này phù hợp với một số kết quả nghiên cứu về dùng vật liệu TSH hấp phụ nitrat [7, 8].

Bảng 4. Các thông số động học trong phương trình Langmuir và Freundlich

Mô hình Langmuir			Mô hình Freundlich			
$q_{\max}$ (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	n	K_F ($\text{L}^{1/n}/\text{g}$)	$q_{\max}$ (mg/g)	R^2
1,437	0,291	0,9849	3,874	1,294	2,804	0,9776

4. KẾT LUẬN

TSH từ cành thanh long có khả năng hấp phụ nitrat hiệu quả trong nước. Quá trình hấp phụ tuân theo mô hình động học giả bậc hai và dung lượng

hấp phụ cực đại đạt 1,437 mg/g theo mô hình Langmuir. Khi dùng 3,0 g TSH đã chế tạo để xử lý 50 mL dung dịch nitrat 80mg/L ở điều kiện tối ưu là pH 2 - 4, thời gian tiếp xúc 60 phút và nhiệt độ

phòng thì khả năng loại bỏ nitrat lần lượt là 1,25 mg nitrat/1 g TSH với hiệu suất loại bỏ nitrat > 90%. Kết quả này mở ra triển vọng cho việc ứng dụng phụ phẩm nông nghiệp cành thanh long để loại bỏ nitrat trong nước bị ô nhiễm và định hướng ứng dụng than chứa nitrat sau hấp phụ làm phân bón chậm cho cây trồng. Đồng thời, nghiên cứu góp phần cung cấp phương pháp mới và hiệu quả trong xử lý phụ phẩm cành thanh long, thay thế những phương pháp xử lý rác thải truyền thống theo thói quen như phương pháp đốt truyền thống, chôn lấp... gây ô nhiễm và lãng phí nguồn phụ phẩm nông nghiệp. Kết quả nghiên cứu góp phần cung cấp cơ sở thực nghiệm và thúc đẩy việc tiếp tục phát triển, tối ưu hóa và ứng dụng các TSH có nguồn gốc từ phụ phẩm nông nghiệp trong các nỗ lực kiểm soát ô nhiễm và bảo vệ môi trường rộng hơn trên toàn cầu.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện tại Viện Nghiên cứu phát triển bền vững, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường thành phố Hồ Chí Minh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Hải Đông (2025). Thanh long “soán ngôi” sầu riêng, trở thành trái cây xuất khẩu số 1 Việt Nam. <https://nongthonviet.com.vn/thanh-long-soan-ngoi-sau-rieng-tro-thanh-trai-cay-xuat-khau-so-1-viet-nam-67fd9c915cfe901505a11797.ngn>. Ngày truy cập 20/9/2025.
2. Trần Tuyết Sương, Nguyễn Thị Thu Thảo, Đỗ Hải Sâm, Nguyễn Trung Hiệp, Thái Phương Vũ (2023). Nghiên cứu xử lý Cr(VI) trong môi trường nước bằng than biến tính sản xuất từ cành thanh long (*Hylocereus* sp.). *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, 59(6), 1 - 7. <https://doi.org/10.22144/ctujos.2023.204>
3. Đỗ Hải Sâm, Trần Tuyết Sương, Nguyễn Trung Hiệp, Trần Anh Khoa, Thái Phương Vũ (2023). Nghiên cứu khả năng hấp phụ xanh methylene của than sinh học sản xuất từ cành thanh long (*Hylocereus* sp.). *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, 59(5), 72 - 78. <https://doi.org/10.22144/ctujos.2023.195>
4. Yashasvi Trivedi, Abhishek Sharma, Manisha Sharma, Ranjeet Kumar Mishra, Jyeshtharaj Bhalchandra Joshi, Akhilendra Bhushan Gupta, Bezbaruah Achintya, Kalpit Shah, K. K. Pant (2025). Mechanistic assessment of functionalised biochar derived from customised pyrolyzer for nitrate removal. *Results in Engineering*, 26, 104672. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104672>
5. Haihua Zhao, Yingwen Xue, Li Long, Xiaolan Hu (2018). Adsorption of nitrate onto biochar derived from agricultural residuals. *Water Science & Technology*, 77, 548 - 554. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.568>
6. Phạm Ngọc Thoa, Tăng Lê Hoài Ngân, Đỗ Thị Mỹ Phượng, Nguyễn Xuân Lộc, Lê Thị Thanh Trúc, Huỳnh Thị Hồng Xuyên, Nguyễn Ngọc Hân, Nguyễn Hữu Chiêm (2021). Nghiên cứu khả năng hấp phụ nitrat trong môi trường nước của than sinh học từ trà. *Tạp chí Khoa học, Trường Đại học Vinh*, 50(1A), 40 - 53.
7. Zijian He, Chao Wang, Hongxia Cao, Jiaping Liang, Shuyao Pei, Zhijun Li (2023). Nitrate absorption and desorption by biochar. *Agronomy*, 13(9), 2440. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092440>
8. Laleh Divband Hafshejani, Abdolrahim Hooshmand, Abd Ali Naseri, Amir Soltani Mohammadi, Fariborz Abbasi, Amit Bhatnagar (2016). Removal of nitrate from aqueous solution by modified sugarcane bagasse biochar. *Ecological Engineering*, 95, 101 - 111. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.035>
9. Abdelfattah Amari, Basem Alalwan, Moutaz M. Eldirderi, Wissem Mnif, Faouzi Ben Rebah (2019). Cactus material-based adsorbents for the removal of heavy metals and dyes: A review. *Materials Research Express*, 7, 012002 - 0120015. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab5f32>
10. Võ Quốc Bảo, Nguyễn Văn Tuyền, Phạm Văn Toàn, Văn Phạm Đăng Trí (2023). Đánh giá hiện trạng và đề xuất biện pháp giảm tải lượng ô nhiễm nước thải từ các nguồn thải chính của tỉnh Vĩnh Long. *Tạp chí Khoa học, Trường Đại học Cần Thơ*, 59, 54 - 64. <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2023.106>

**ADSORPTION OF NITRATE BY BIOCHAR PREPARED
FROM THE FRUIT DRAGON BRANCHES (*Hylocereus* sp.)**

Tran Tuyet Suong¹, Huynh Thi Mai Anh², Do Hai Sam³, Thai Phuong Vu²

¹ *Institute for Sustainable Development Studies,*

Hochiminh city University of Natural Resources and Environment

² *Faculty of Environment, Hochiminh city University of Natural Resources and Environment*

³ *Faculty of Application Science, Hochiminh city University of Natural Resources and Environment*

Abstract

The present study evaluated the nitrate removal efficiency in aqueous solution using biochar (BC) produced from the fruit dragon branches. The BC produced through pyrolysis at 450°C for 120 minutes, exhibited a rough, porous and heterogeneous surface morphology, making it suitable for adsorption applications. Optimal adsorption conditions were achieved at a pH of 2, 3.0 g of biochar having particles size of 0.054 - 0.105 mm, a contact time of 60 minutes, 50 mL initial nitrate concentration of 80.0 mg/L and room temperature, yielding an adsorption efficiency and adsorption capacity of 93.4% and 1.25 mg/g, respectively. The strong influence of solution pH on adsorption efficiency was demonstrated by a significant decrease in efficiency as the pH solution increased, highlighting the role of electrostatic attraction between the positively charged biochar surface (below the point of zero charge (PZC) of 7.6) and the nitrate anions. The adsorption process followed the Langmuir isotherm model having $q_{\max}$ of 1.437 mg/g and the pseudo-second-order kinetic, indicating that chemisorption was the dominant mechanism. This research contributes to elucidating the potential for using agricultural by-products in nitrate treatment and proposes using the post-adsorption biochar as a slow-release fertilizer, aligning with the circular agriculture model.

Keywords: *Nitrate, adsorption, fruit dragon branches, biochar, wastewater treatment.*

Ngày nhận bài: 3/10/2025

Ngày chuyển phản biện: 13/10/2025

Ngày thông qua phản biện: 12/11/2025

Ngày duyệt đăng: 27/11/2025