



Original Article

Application of Biochar Derived from Pomelo Peels and Corn Cobs for the Removal of Ammonium Residue in Wastewater after Distillation Process

Tran Van Son^{1,*}, Lai Duc Manh¹, Nguyen Manh Khai^{1,2}

¹*Faculty of Environmental Sciences, VNU University of Science,
334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam.*

²*VNU Key Laboratory of Green Environment, Technology and Waste Utilization (GreenLab),
VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam*

Received 08th August 2025

Revised 15th September 2025; Accepted 30th September 2025

Abstract: This study aimed to utilize agricultural by-products to produce adsorbents that are capable of removing ammonium from the effluent after the distillation-based treatment of industrial wastewater. Pomelo peel and corn cobs were processed through multiple steps including H_3PO_4 and pyrolysis to fabricate CC-Biochar and PP-Biochar materials for ammonium removal from water. The fabricated adsorbents exhibited a porous and heterogeneous surface structure, in which the walls of larger pores contained many smaller pores. CC-Biochar activated carbon had a more porous surface structure and more cavities than PP-Biochar activated carbon. Both CC-Biochar and PP-Biochar contained functional groups such as $-C-O$, $C=C$, $C=O$, $C=N$, $C-H$, $-OH$, and $-NH$. The optimal dosage of the modified adsorbents BioP-1 and BioP-2 was determined to be 10 g/L, corresponding to the highest adsorption efficiency of 43.28% for PP-Biochar and 49.19% for CC-Biochar. Both types of fabricated materials exhibited the fastest ammonium adsorption within the first 60 minutes. The ammonium adsorption capacities of CC-Biochar and PP-Biochar were 5.15 and 4.36 mg/g, respectively.

Keywords: Industrial wastewater, pomelo peels, corn cob, CC-Biochar, PP-Biochar, ammonium treatment.

* Corresponding author.

E-mail address: transon_mt@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuces.5436>

Nghiên cứu ứng dụng biochar từ cùi bưởi và lõi ngô để xử lý tồn dư amoni trong nước thải sau quá trình chưng cất: đặc tính vật liệu, ảnh hưởng của thời gian và liều lượng

Trần Văn Sơn^{1,*}, Lai Đức Mạnh¹, Nguyễn Mạnh Khải^{1,2}

¹Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

²Phòng thí nghiệm trọng điểm Công nghệ môi trường xanh và Tái chế chất thải,
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 08 tháng 8 năm 2025

Chỉnh sửa ngày 15 tháng 9 năm 2025; Chấp nhận đăng ngày 30 tháng 9 năm 2025

Tóm tắt: Nghiên cứu này nhằm chế tạo vật liệu hấp phụ từ phế phụ phẩm nông nghiệp có khả năng loại bỏ amoni trong nước đầu ra sau quá trình xử lý nước thải công nghiệp chứa amoni hàm lượng cao bằng phương pháp chưng cất, nhằm đáp ứng yêu cầu xả thải ra môi trường. Cùi bưởi (pomelo peels) và lõi ngô (corn cob) được xử lý qua nhiều bước trong đó có biến tính bằng H_3PO_4 và nhiệt tạo thành các vật liệu than sinh học PP-Biochar và CC-Biochar để loại bỏ amoni trong nước. Vật liệu hấp phụ chế tạo được có bề mặt cấu trúc xốp và không đồng nhất, trên vách các lỗ xốp lớn lại gồm nhiều lỗ xốp nhỏ. Than hoạt tính CC-Biochar có cấu trúc bề mặt xốp và nhiều lỗ rỗng hơn vật liệu than hoạt tính PP-Biochar. Cả hai vật liệu CC-Biochar và PP-Biochar đều có các nhóm chức $-C-O-$, $C=C$, $C=O$, $C=N$, $C-H$, $-OH$. Liều lượng vật liệu hấp phụ tối ưu được lựa chọn đối với vật liệu than biến tính PP-Biochar và CC-Biochar là 10 g/L, tương ứng với hiệu suất hấp phụ tốt nhất của vật liệu PP-Biochar là 43,28% và của vật liệu CC-Biochar là 49,19%. Cả hai loại vật liệu chế tạo được có khả năng hấp phụ amoni nhanh ở 60 phút đầu tiên. Dung lượng hấp phụ amoni của các vật liệu CC-Biochar và PP-Biochar lần lượt là 5,15 và 4,36 mg/g.

Từ khóa: Nước thải công nghiệp, cùi bưởi, lõi ngô, CC-Biochar, PP-Biochar, xử lý amoni.

1. Mở đầu

Ô nhiễm amoni trong nước thải là vấn đề môi trường nghiêm trọng, góp phần gây phú dưỡng thủy vực và khan hiếm tài nguyên. Việc loại bỏ và thu hồi nitơ từ nước thải góp phần giảm thiểu tác động này, đồng thời thúc đẩy kinh tế tuần hoàn thông qua tái sử dụng dưới dạng phân bón hoặc amoniac. Các công nghệ đã được nghiên cứu bao gồm trao đổi ion, hấp phụ, hấp phụ sinh

học, oxy hóa không khí ẩm, lọc sinh học, sục khí khuấy tán, nitrat hóa-khử nitrat [1]. Phương pháp sinh học chiếm ưu thế nhờ chi phí thấp, trong đó nitrat hóa - khử nitrat (nitrification/denitrification - N/DN) đạt hiệu suất loại bỏ 60-95% bằng cách oxy hóa NH_4^+ thành NO_3^- ở điều kiện hiếu khí và khử thành N_2 trong điều kiện thiếu khí [1]. Anammox, quá trình tự dưỡng, loại bỏ 80-90% nitơ bằng oxy

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: transon_mt@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5436>

hóa NH_4^+ với NO_2^- , tiết kiệm 60% năng lượng so với N/DN. Hệ thống lai nitrit hóa một phần-Anammox phù hợp cho dòng phụ giàu NH_4^+ (>800 mg/L), với thời gian khởi động 100-150 ngày [2]. Nitrat hóa-khử nitrat đồng thời trong màng sinh học đạt 70-85% loại bỏ trong hệ thống compact, giảm nhu cầu thông khí [3]. Xu hướng gần đây chuyển từ loại bỏ nitơ (qua chuyển hóa thành N_2) sang thu hồi tài nguyên (amoniac hoặc phân bón) [4]. Kỹ thuật vật lý-hóa học như phương pháp stripping bay hơi NH_3 tại pH >9 , thu hồi 70-95% dưới dạng amoni sunfat [5]. Kết tủa struvite (MgNH_4PO_4) thu hồi 80-90% N/P từ chất thải làm phân bón nhả chậm [6]. Hấp phụ bằng zeolit hoặc than sinh học đạt 70-95% loại bỏ, có thể tái sinh cho nước thải cường độ thấp [6]. Công nghệ màng, bao gồm thẩm thấu ngược và thẩm thấu thuận, cô đặc N để thu hồi 30-100%, dù tắc nghẽn vẫn là thách thức [7].

Phương pháp hấp phụ amoni bằng vật liệu từ phế phụ phẩm nông nghiệp (như biochar từ vỏ ngô, vỏ cam, trấu, rơm rạ,...) có tiềm năng lớn trong xử lý nước thải, nhờ tận dụng nguồn phế thải dồi dào để tạo vật liệu xanh, giảm chi phí sản xuất và thúc đẩy kinh tế tuần hoàn [5]. Ưu điểm nổi bật bao gồm hiệu quả loại bỏ cao (70-95%), quy trình vận hành đơn giản mà không cần kích hoạt phản ứng hóa học, tiêu thụ năng lượng thấp và tính thân thiện với môi trường, giúp thu hồi nitơ làm phân bón [6]. Ngoài ra, các vật liệu này sở hữu độ bền nhiệt, tính chất cơ học tốt và nhóm chức năng phong phú như amino và hydroxyl phù hợp xử lý chất ô nhiễm như amoni, mở rộng ứng dụng trong quản lý chất thải nông nghiệp bền vững [8, 9].

Nghiên cứu này tiếp theo hướng nghiên cứu “Nghiên cứu xử lý, thu hồi amoni trong nước thải công nghiệp có hàm lượng amoni cao bằng phương pháp chung cất” đã xuất bản trước đây đã nghiên cứu xử lý và thu hồi amoni thành công từ nước thải công nghiệp chế tạo pin có hàm lượng amoni rất cao (28000 mgN/L) [10]. Nghiên cứu trên áp dụng phương pháp chung cất nhiệt kết hợp thổi khí cưỡng bức, điều chỉnh pH đạt hiệu quả cao nhưng tiêu hao năng lượng lớn. Để giảm thời gian chung cất nhằm tiết kiệm năng lượng, cần xử lý bước hai sau chung cất nhiệt.

Vì vậy, nghiên cứu này nhằm chế tạo vật liệu hấp phụ than hoạt tính từ các phế phụ phẩm nông nghiệp sẵn có như cùi bưởi và lõi ngô để xử lý amoni ở sau xử lý bằng chung cất nhiệt. Hướng đi này có triển vọng đối với các vấn đề ô nhiễm amoni hàm lượng thấp, vật liệu có nguồn gốc tự nhiên có giá thành rẻ.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

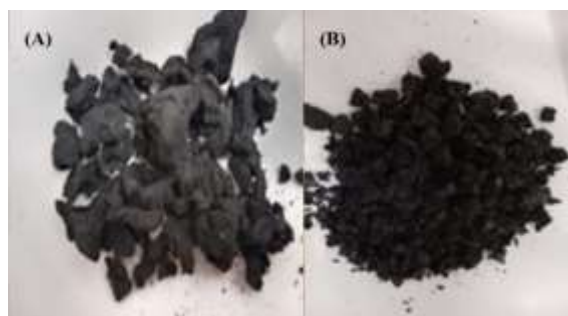
2.1. Đối tượng nghiên cứu

Mẫu nước thải chứa $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ tại một nhà máy sản xuất pin trong khu công nghiệp tỉnh Hưng Yên, sau khi được xử lý bằng phương pháp chung cất nhiệt, được tiếp tục xử lý bằng phương pháp hấp phụ. Vì giảm thời gian để giảm thiểu năng lượng tiêu hao trong quá trình chung cất, nên nồng độ amoni sau khi xử lý bằng phương pháp chung cất là 14,75 mg N/L, pH dung dịch đo được là 7,5.

Nguyên liệu chế tạo vật liệu được lấy từ cùi bưởi và lõi ngô để sản xuất than hoạt tính, và được thu gom tại nhà và các khu chợ trên địa bàn thành phố Hà Nội.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp chế tạo vật liệu



Hình 1. Sản phẩm than hoạt tính từ (A) cùi bưởi và (B) lõi ngô.

Cùi bưởi (pomelo peels) và lõi ngô (corn cob) sau khi thu gom đều được rửa sạch, sấy khô ở 105 °C trong 4 giờ, sau đó ngâm trong dung dịch H_3PO_4 0,5 M trong 24 giờ. Việc ngâm trong axit giúp vật liệu loại bỏ tạp chất, phát triển mao

quản và bổ sung các nhóm chức năng cần thiết trên bề mặt vật liệu [11, 12]. Mẫu được rửa đến pH trung tính, sấy khô và nung ở 400 °C trong 2 giờ thu được vật liệu than sinh học PP-Biochar và CC-Biochar (Hình 1).

2.2.2. Nghiên cứu xác định đặc tính vật liệu

Vật liệu than hoạt tính sau khi chế tạo được xác định đặc tính bằng các phương pháp kính hiển vi điện tử quét (SEM – Scanning Electron Microscopy) Nova NanoSEM 450, máy quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR-Fourier Transform Infrared spectroscopy) Jasco FTIR – 4600.

2.2.3. Khảo sát ảnh hưởng của các yếu tố đến khả năng hấp phụ của vật liệu

Các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng xử lý amoni của vật liệu như liều lượng, thời gian được tiến hành nghiên cứu. Các thí nghiệm được tiến hành lặp lại 3 lần và tính toán độ lệch chuẩn.

Ảnh hưởng của liều lượng

Lấy 50 mL dung dịch nước thải sau khi xử lý bằng phương pháp chung cất nhiệt (14,75 mg N/L) vào các bình tam giác. Cho lần lượt 0,2; 0,5; 1; 2 g vật liệu, tương đương với các liều lượng 4; 10; 20; 40 (g/L). Lắc hỗn hợp với tốc độ 150 vòng/phút trong 2 giờ tại nhiệt độ phòng. Sau đó lọc dung dịch bằng giấy lọc có kích thước lỗ lọc 0,22 µm, thu mẫu và phân tích bằng phương pháp UV-VIS ở bước sóng 366 nm.

Ảnh hưởng của thời gian

Hút 50 mL dung dịch nước thải như ở trên vào các bình tam giác. Cho vật liệu với liều lượng tối ưu (xác định từ thí nghiệm trên) vào các bình lắc với tốc độ 150 vòng/phút. Lấy mẫu ở các khoảng thời gian 30; 60; 120; 180; 240; 300 và 360 phút. Sau đó lọc dung dịch bằng giấy lọc có kích thước màng lọc 0,22 µm, thu mẫu và đem đi phân tích bằng phương pháp UV-VIS ở bước sóng 366 nm.

Hiệu suất hấp phụ amoni được tính theo công thức:

$$H = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \cdot 100\%$$

Dung lượng hấp phụ được tính như sau:

$$q = \frac{C_0 - C_t}{m} \cdot V$$

Trong đó:

H: hiệu suất hấp phụ (%);

q: dung lượng hấp phụ (mg/g);

V: thể tích dung dịch chất bị hấp phụ (L);

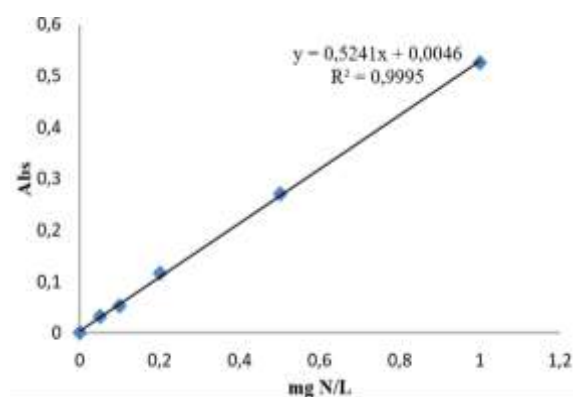
m: khối lượng chất bị hấp phụ (g);

C₀: nồng độ của chất bị hấp phụ tại thời điểm ban đầu (mg/L);

C_t: nồng độ của chất bị hấp phụ tại thời điểm cân bằng (mg/L).

2.3. Phương pháp phân tích amoni trong nước

Hàm lượng amoni được xác định bằng phương pháp so màu với thuốc thử Nessler [13]. Pha loãng mẫu 100 lần, sau đó thêm 1 ml thuốc thử Nessler và mang đi đo quang bằng máy đo quang UV-VIS ở bước sóng 366 nm. Một lượng dung dịch Xecnhet hay dung dịch Complexon III được thêm vào để loại bỏ ảnh hưởng của các cation nếu có trong mẫu nước. Đường chuẩn tương quan giữa độ hấp thụ quang và nồng độ amoni chuẩn 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1 mg N/L được thể hiện ở Hình 2.



Hình 2. Đồ thị biểu diễn đường chuẩn amoni.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc tính của vật liệu hấp phụ

3.1.1. Hình thái bề mặt vật liệu hấp phụ

Kết quả chụp SEM của các vật liệu được thể hiện ở Hình 3 và Hình 4. Hình 3 cho thấy bề mặt của vật liệu PP-Biochar xuất hiện nhiều mảnh vụn, các lớp cấu trúc xếp chồng và nhiều khe

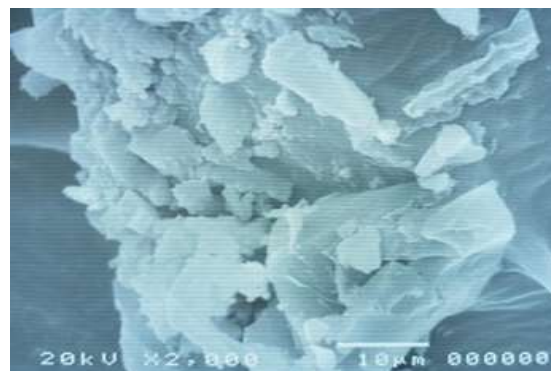
rỗng phân bố không đồng đều. Các hạt có hình dạng và kích thước khác nhau, xen kẽ giữa các tấm mỏng, vùng nứt vỡ và các khối rời rạc. Đặc điểm hình thái này phản ánh quá trình than hóa và hoạt hóa đã tạo nên cấu trúc xốp phát triển, chứa cả mao quản trung bình và lớn. Cấu trúc này giúp gia tăng diện tích bề mặt tiếp xúc và khả năng khuếch tán của dung dịch vào các lỗ rỗng, từ đó nâng cao hiệu quả hấp phụ ion NH_4^+ trong môi trường nước.

Hình ảnh SEM của CC-Biochar trên Hình 4 cho thấy bề mặt vật liệu gồm các mảnh lớn dạng tấm với nhiều lỗ rỗng phân bố đồng đều và liên thông tốt. Các mao quản có kích thước trong khoảng 3-20 μm , chứng tỏ cấu trúc xốp phát triển mạnh sau quá trình than hóa và hoạt hóa. So với PP-Biochar, vật liệu CC-Biochar có ít mảnh vụn, bề mặt thông thoáng hơn và hệ lỗ rỗng mở rõ ràng, giúp tăng khả năng khuếch tán và tiếp xúc với dung dịch. Đặc điểm này góp phần nâng cao khả năng hấp phụ ion NH_4^+ thông qua cơ chế hấp phụ vật lý kết hợp trao đổi ion, khẳng định CC-Biochar là vật liệu tiềm năng hơn cho xử lý nước thải chứa amoni.

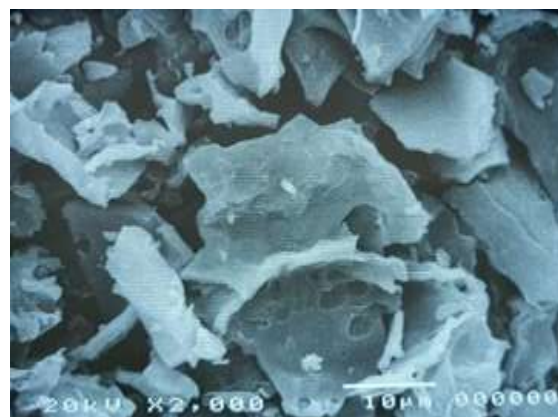
So sánh với nghiên cứu trước đây [14], vật liệu H-CCB xử lý bằng H_2O_2 cho thấy sự phát triển dày đặc của lỗ rỗng và gia tăng diện tích bề mặt rõ rệt. Về cơ chế, H_2O_2 chủ yếu oxy hóa bề mặt, làm mỏng thành và mở lỗ. Trong nghiên cứu hiện tại, biến tính bằng H_3PO_4 tạo ra một mạng mao quản phát triển, tăng diện tích bề mặt và khả năng hấp phụ NH_4^+ , kèm theo sự xuất hiện nhiều nhóm chức oxy-axit trên bề mặt ($-\text{COOH}$, $-\text{C}=\text{O}$).

Hình thái bề mặt của PP-Biochar và CC-Biochar có nhiều điểm tương đồng với các vật liệu cacbon hóa từ tre và gỗ [15]. Hệ mao quản của hai mẫu biochar quan sát được bằng SEM chủ yếu nằm ở thang micromet (1-20 μm), tương tự kích thước mao quản của tre cacbon hóa (10-20 μm). Đặc biệt, CC-Biochar thể hiện hệ lỗ rỗng mở và phân bố đồng đều, gần giống với cấu trúc của tre, dẫn đến diện tích bề mặt thực tế cao hơn và khả năng khuếch tán ion trong dung dịch tốt hơn. Điều này giải thích vì sao CC-Biochar có hiệu quả hấp phụ NH_4^+ cao hơn PP-Biochar, đồng thời khẳng định vai trò quan trọng của

nguồn nguyên liệu và điều kiện cacbon hóa trong việc kiểm soát cấu trúc mao quản của vật liệu.



Hình 3. Ảnh hiển vi điện tử quét của vật liệu than hoạt tính PP-Biochar.



Hình 4. Ảnh hiển vi điện tử quét của vật liệu than hoạt tính CC-Biochar.

3.1.2. Phổ hồng ngoại của vật liệu

Phổ hồng ngoại FTIR của vật liệu cho thấy một số lượng lớn các nhóm chức được thể hiện các dao động trong Hình 5 và Hình 6.

Trước quá trình hấp phụ, cả hai vật liệu đều xuất hiện các đỉnh đặc trưng ở vùng 3300-3600 cm^{-1} (dao động kéo dài của nhóm hydroxyl $-\text{OH}$ và $-\text{NH}$), 2900-3050 cm^{-1} (dao động kéo dài của liên kết $\text{C}-\text{H}$), 1700-1725 cm^{-1} (dao động kéo dài của nhóm carbonyl $\text{C}=\text{O}$), và 1000-1300 cm^{-1} (dao động của nhóm $-\text{C}-\text{O}-$ trong este). Các nhóm hydroxyl, carboxyl, carbonyl và amino có nguồn gốc từ thành phần lignin, xenluloza và hemixenluloza của nguyên liệu thực

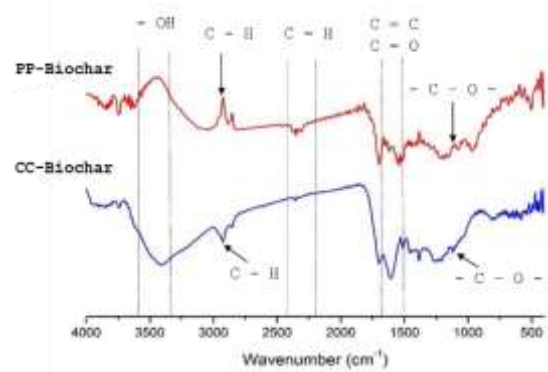
vật, chúng có khả năng liên kết ion amoni thông qua tương tác điện tích hoặc liên kết hydro [16].

So sánh giữa hai vật liệu cho thấy CC-Biochar có cường độ hấp thụ mạnh hơn đáng kể tại vùng 3300-3600 cm^{-1} của nhóm hydroxyl và 1700-1725 cm^{-1} của nhóm carbonyl. Trong khi đó, PP-Biochar thể hiện phổ với cường độ yếu hơn và đỉnh hấp thụ kém sắc nét, cho thấy bề mặt chứa ít nhóm phân cực hoạt động hơn. Sự khác biệt này cho thấy CC-Biochar có hàm lượng nhóm chức oxy hóa cao hơn, giúp tăng mật độ điểm hoạt động và khả năng tương tác điện tích với ion NH_4^+ . Ngoài ra, dải hấp thụ ở vùng 1000–1300 cm^{-1} của CC-Biochar cũng thể hiện rõ ràng hơn, chứng tỏ bề mặt vật liệu này có cấu trúc chứa nhiều liên kết C-O , góp phần làm tăng khả năng hấp phụ ion amoni hơn so với vật liệu PP-Biochar. Phổ hồng ngoại của cả hai vật liệu đều không tồn tại nhóm chức -PO_4 với bước sóng 1000-1150 cm^{-1} , chứng tỏ rằng trong quá trình rửa than đã loại bỏ được hoàn toàn lượng axit dư sau khi biến tính với H_3PO_4 .

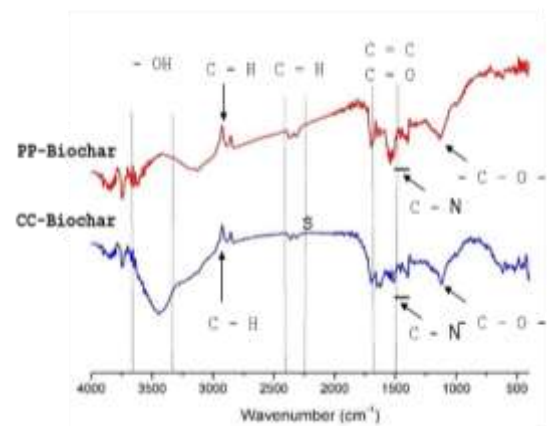
Sau quá trình hấp phụ NH_4^+ , phổ FTIR của cả hai vật liệu PP-Biochar và CC-Biochar đều cho thấy những biến đổi rõ rệt về cường độ và hình dạng các dải hấp thụ, phản ánh sự tương tác giữa các nhóm chức bề mặt và ion amoni. Cụ thể, cường độ dao động kéo dài của nhóm -OH và -NH trong vùng 3300–3600 cm^{-1} tăng lên rõ rệt, chứng tỏ sự tham gia tích cực của các nhóm phân cực này trong quá trình hình thành liên kết hydro hoặc tương tác tĩnh điện với NH_4^+ . Đồng thời, đỉnh hấp thụ tại vùng 1700–1725 cm^{-1} đặc trưng cho nhóm C=O cũng tăng cường đáng kể, cho thấy khả năng phối hợp giữa NH_4^+ và các nhóm carboxyl, tạo thành liên kết kiểu ammonium carboxylate ổn định trên bề mặt vật liệu. Ngoài ra, sự xuất hiện và tăng cường của vùng dao động 1380–1550 cm^{-1} liên quan đến liên kết C-N xác nhận sự hình thành các liên kết mới giữa ion amoni và các nhóm chức chứa nitơ, minh chứng cho quá trình hấp phụ hóa học song song với hấp phụ vật lý. Cường độ của các đỉnh -OH và C=O ở vật liệu CC-Biochar cao hơn đáng kể so với PP-Biochar, thể hiện mật độ nhóm chức hoạt hóa lớn hơn và khả năng tương tác mạnh hơn với ion NH_4^+ . Những thay đổi này khẳng định rằng các

nhóm chức carboxyl, hydroxyl và amino đóng vai trò chủ đạo trong cơ chế hấp phụ NH_4^+ của vật liệu, thông qua các liên kết hydro, ion và trao đổi proton trên bề mặt biochar.

Phân tích phổ FTIR trong nghiên cứu này tương tự với kết quả của Mai & Tuyên (2016) [12], cho thấy sự hiện diện của các nhóm chức hydroxyl (-OH), carboxyl (C=O) và liên kết C-H đặc trưng cho vật liệu nguồn gốc lignocellulose. Cường độ tín hiệu -OH và C=O suy giảm ở BioP-Na so với BioP, trong khi lại tăng rõ rệt ở PP-Biochar và đặc biệt ở CC-Biochar. Kết quả này cho thấy bề mặt CC-Biochar duy trì nhiều nhóm chức hoạt động hơn, tạo điều kiện thuận lợi cho việc liên kết ion amoni trong nước.



Hình 5. Phổ hồng ngoại FTIR của vật liệu trước hấp phụ.

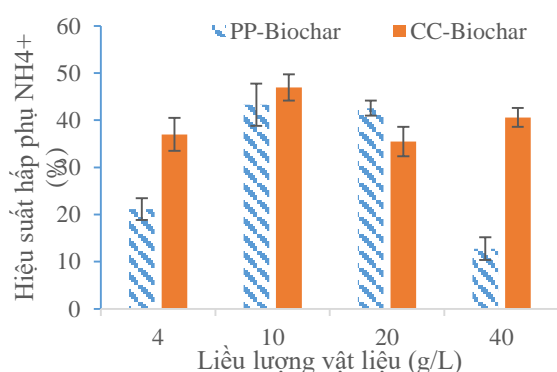


Hình 6. Phổ hồng ngoại FTIR của vật liệu sau hấp phụ amoni.

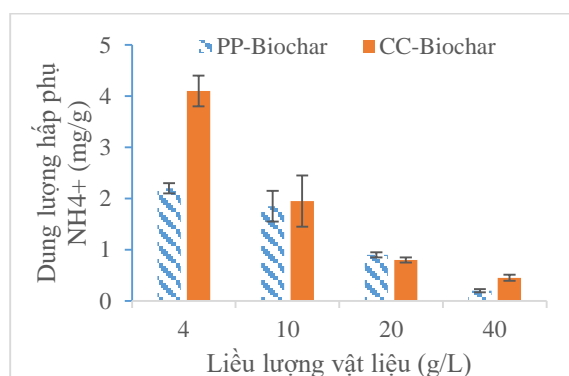
3.2. Ảnh hưởng của các yếu tố đến khả năng hấp phụ

3.2.1. Ảnh hưởng của liều lượng vật liệu

Khi thay đổi liều lượng vật liệu hấp phụ 4; 10; 20; 40 (g/L), thì hiệu suất hấp phụ dao động nhưng xu hướng tăng dần còn dung lượng hấp phụ của vật liệu giảm dần (Hình 7). So sánh khả năng hấp phụ amoni của hai vật liệu, cho thấy khả năng hấp phụ của CC-Biochar cao hơn so với PP-Biochar khoảng 2 lần ở cùng liều lượng 4 g/L, còn ở các liều lượng cao hơn thì hiệu suất và dung lượng khá tương đồng giữa hai loại vật liệu (Hình 8).



Hình 7. Ảnh hưởng của liều lượng vật liệu đến hiệu suất hấp phụ.



Hình 8. Ảnh hưởng của liều lượng đến dung lượng hấp phụ.

Hiệu suất hấp phụ tốt nhất của vật liệu PP-Biochar là 43,28% và của vật liệu CC-Biochar là 46,94% với liều lượng 10 g/L. Với vật liệu PP-Biochar, hiệu suất hấp phụ thấp nhất là 12,76%

ở liều lượng 40 g/L. Với vật liệu CC-Biochar, hiệu suất hấp phụ thấp nhất là 35,49% ở liều lượng 20 g/L. Kết quả thực nghiệm cho thấy, khi tăng liều lượng hấp phụ lên 20 và 40 g/L hiệu suất hấp phụ của hai loại vật liệu chế tạo có xu hướng giảm. Điều này có thể do khả năng tiếp xúc của các vị trí hấp phụ với ion amoni bị che lấp ở liều lượng cao, làm giảm hiệu quả xử lý. Vì vậy, liều lượng hấp phụ tối ưu được lựa chọn đối với vật liệu than biến tính PP-Biochar và CC-Biochar là 10 g/L. Liều lượng này cao hơn so với vật liệu xử lý amoni một số nghiên cứu trước như than sinh học từ cây đước (mangrove biochar) (2 g/L) [17] và biochar từ dăm gỗ sồi (beech wood chips -BBCh) và bùn nước thải sinh hoạt (sewage sludge -BSS) (4g/L) [18].

3.2.2. Ảnh hưởng của thời gian hấp phụ

Ảnh hưởng của thời gian đến quá trình hấp phụ amoni của vật liệu than PP-Biochar và CC-Biochar được thể hiện trên Hình 9 và Hình 10.

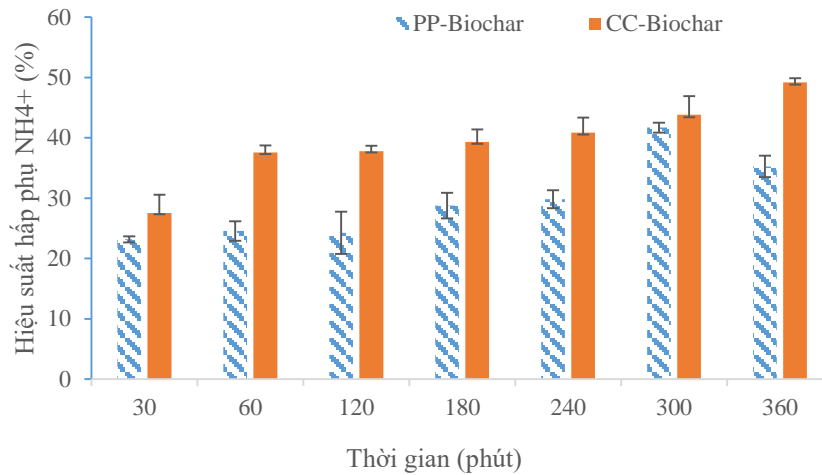
Vật liệu PP-Biochar có hiệu suất hấp phụ nhanh trong 60 phút đầu tiên, sau đó ổn định trong khoảng 23-30% từ 60 đến 240 phút. Từ 240 đến 300 phút PP-Biochar hấp phụ nhanh chóng lượng amoni trong dung dịch. Hiệu suất đạt được sau 300 phút là 41,68%, đường biểu diễn hiệu suất hấp phụ của PP-Biochar có độ dốc lớn từ mốc 240 đến 300 phút. Hiệu suất cao nhất đạt được là 41,68% ứng với dung lượng hấp phụ 4,36 mg/g sau 5 giờ (300 phút) hấp phụ. Sau đó, hiệu suất hấp phụ giảm đi có thể do quá trình giải hấp diễn ra sau 5 giờ hấp phụ. Do vậy, nghiên cứu tiếp theo chọn thời gian phù hợp cho quá trình xử lý amoni bằng vật liệu là 60 phút.

Vật liệu CC-Biochar từ 0 đến 60 phút hấp phụ nhanh chóng lượng amoni trong dung dịch. Hiệu suất đạt được sau 60 phút hấp phụ là 37,55%. Thời gian đạt trạng thái cân bằng lâu hơn vật liệu PP-Biochar và dung lượng hấp phụ của vật liệu CC-Biochar cao hơn so với vật liệu PP-Biochar. Amoni bị hấp phụ nhiều nhất sau 6 giờ (360 phút) hấp phụ, hiệu suất đạt được là 49,19% ứng với dung lượng hấp phụ là 5,145 mg/g. Vật liệu CC-Biochar có khả năng hấp phụ thêm lượng amoni nếu kéo dài thời gian trong khoảng khảo sát nhưng không đáng kể. Vì vậy,

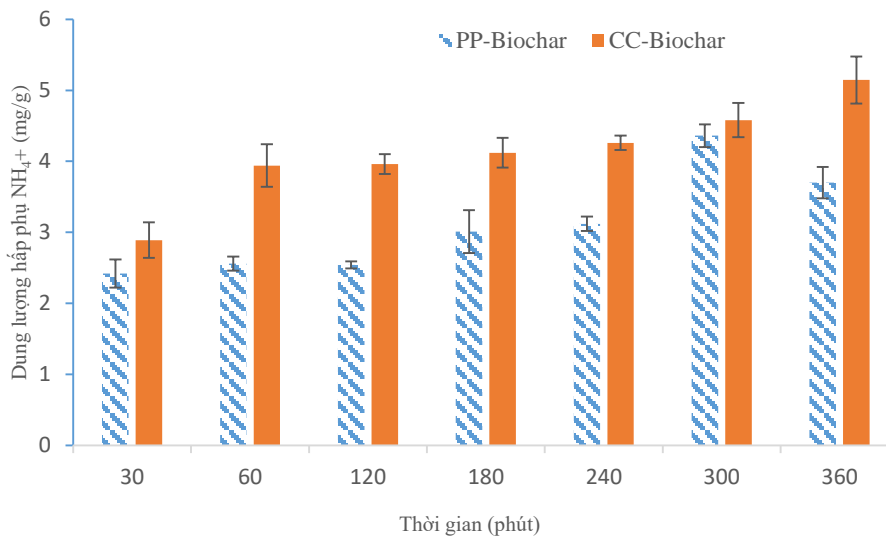
cả 2 vật liệu có thể chọn thời gian xử lý phù hợp là 60 phút.

Một vật liệu khác được nghiên cứu là than sinh học từ lõi ngô biến tính với HNO₃ và NaOH, có dung lượng hấp phụ là 22,6 mg NH₄⁺-N/g [19]. So sánh với nghiên cứu [14] cho thấy H-CCB cũng có tốc độ hấp phụ amoni nhanh trong giai đoạn đầu và đạt trạng thái cân bằng sau khoảng 6 giờ. Thí nghiệm kinetic trong nghiên

cứ đó được tiến hành với nồng độ ban đầu C₀ = 40 mg/L và liều lượng 0,125 g trong 25 mL (≈ 5 g/L), theo dõi đến 24 giờ. Kết quả cho thấy tại 6 giờ, hiệu suất loại bỏ amoni đạt 51,0% (Q_t = 4,08 mg/g) đối với CCB, 61,59% đối với P-CCB và 60,82% đối với H-CCB; sau 24 giờ, P-CCB và H-CCB tiếp tục đạt hiệu suất cao hơn (84,44%, Q_e = 6,88 mg/g và 81,94%, Q_e = 6,61 mg/g, tương ứng).



Hình 9. Ảnh hưởng của thời gian đến hiệu suất hấp phụ đến quá trình hấp phụ.



Hình 10. Ảnh hưởng của thời gian đến dung lượng hấp phụ.

Trong khi đó, kết quả của nghiên cứu này cho thấy ở 60 phút, vật liệu PP-Biochar đạt hiệu suất 41,68% và CC-Biochar đạt 37,55%, cao hơn so với giá trị ban đầu (0–60 phút) quan sát được từ đồ thị của H-CCB [14]. Điều này gợi ý rằng, mặc dù H-CCB có ưu thế về diện tích bề mặt và cấu trúc mao quản, hiệu quả loại bỏ amoni vượt trội của nó chỉ thực sự thể hiện rõ khi kéo dài thời gian hấp phụ đến nhiều giờ. Ngược lại, vật liệu biochar trong nghiên cứu này cho thấy ưu thế ở giai đoạn ngắn hạn (≤ 60 phút), phù hợp hơn cho các ứng dụng yêu cầu xử lý nhanh.

Than hoạt tính biến tính bằng acid hữu cơ (AC-RCOONa) đã được nghiên cứu như một vật liệu hấp phụ hiệu quả đối với amoni trong dung dịch nước [20]. Vật liệu này được chứng minh có dung lượng hấp phụ cực đại theo mô hình Langmuir đạt tới 19,34 mg/g và cơ chế hấp phụ chủ yếu thông qua quá trình trao đổi. Sự khác biệt này có thể giải thích bởi AC-RCOONa có diện tích bề mặt và số lượng nhóm chức ($-\text{COO}^- \text{Na}^+$) cao hơn đáng kể, giúp tăng khả năng tương tác với ion amoni; và biochar trong nghiên cứu này mặc dù có cấu trúc mao quản phát triển, song hàm lượng nhóm chức phân cực hạn chế, dẫn đến dung lượng hấp phụ thấp hơn. Tuy vậy, biochar vẫn có ưu điểm ở khả năng sản xuất từ nguồn nguyên liệu tái tạo, chi phí thấp và tính bền vững về mặt môi trường, do đó có tiềm năng ứng dụng trong xử lý nước thải quy mô lớn.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã chế tạo thành công vật liệu than biến tính PP-Biochar và CC-Biochar từ chất thải nông nghiệp cùi bưởi, lõi ngô để hấp phụ amoni trong nước. Kết quả phân tích SEM và FTIR cho thấy cả PP-Biochar và CC-Biochar đều có cấu trúc xốp với hệ thống mao quản phát triển và chứa các nhóm chức phân cực như hydroxyl, carboxyl và carbonyl, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình hấp phụ ion NH_4^+ . Tuy nhiên, CC-Biochar có bề mặt thô ráp, nhiều lỗ rỗng hơn và cường độ các nhóm chức $-\text{OH}$, $\text{C}=\text{O}$, $-\text{C}-\text{O}-$ mạnh hơn so với PP-Biochar, phản ánh khả năng hoạt hóa bề mặt và tương tác hấp phụ cao hơn. Sự khác biệt về cấu trúc bề mặt và

mức độ phát triển nhóm chức khiến CC-Biochar có tiềm năng hấp phụ amoni vượt trội hơn so với PP-Biochar.

Kết quả xử lý nước thải sau phương pháp chung cất nhiệt (với nồng độ 14,75 mg N/L) cho thấy, liều lượng ảnh hưởng đến hiệu suất và dung lượng hấp phụ amoni bằng các vật liệu chế tạo được và 10 g/L được chọn là liều lượng phù hợp nhất do duy trì hiệu suất và dung lượng ổn định. Ngoài ra, hai loại vật liệu có khả năng hấp phụ nhanh ở 60 phút đầu tiên. Hiệu suất cao nhất đạt được của vật liệu PP-Biochar là 41,68% ứng với dung lượng hấp phụ 4,36 mg/g sau 5 giờ (300 phút) liều lượng 10 g/L. Với vật liệu CC-Biochar, amoni bị hấp phụ nhiều nhất sau 6 giờ (360 phút) ở liều lượng 10 g/L, hiệu suất đạt được là 49,19% ứng với dung lượng hấp phụ là 5,145 mg/g. Kết quả bước đầu cho thấy, cả hai loại vật liệu đều có khả năng xử lý amoni và có thể tiến hành thêm các nghiên cứu để tối ưu hóa hoặc chế tạo cũng như nâng cao hiệu suất xử lý amoni trong nước.

Tài liệu tham khảo

- [1] Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, McGraw-Hill Education, New York, 2014.
- [2] J. G. Kuenen, Anammox Bacteria: From Discovery to Application, Nature Reviews Microbiology, Vol. 4, 2008, pp. 320-326, <https://doi.org/10.1038/nrmicro1857>.
- [3] F. Di Capua, F. Iannaccone, F. Sabba, G. Esposito, Simultaneous Nitrification–Denitrification in Biofilm Systems for Wastewater Treatment: Key Factors, Potential Routes, and Engineered Applications, Bioresource Technology, Vol. 361, 2022, pp. 127702, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127702>.
- [4] Y. Lin, M. Guo, N. Shah, D. C. Stuckey, Economic and Environmental Evaluation of Nitrogen Removal and Recovery Methods from Wastewater, Bioresource Technology, Vol. 215, 2016, pp. 227-238, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.064>.
- [5] L. Kinidi, I. A. W. Tan, N. B. A. Wahab, K. F. B. Tamrin, C. N. Hipolito, S. F. Salleh, Recent Development in Ammonia Stripping Process for Industrial Wastewater Treatment, International

- Journal of Chemical Engineering, Vol. 2018, <https://doi.org/10.1155/2018/3181087>.
- [6] Y. Ye, H. H. Ngo, W. Guo, Y. Liu, S. W. Chang, D. D. Nguyen, J. Wang, A Critical Review on Ammonium Recovery from Wastewater for Sustainable Wastewater Management, *Bioresource Technology*, Vol. 268, 2018, pp. 749-758, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.111>.
- [7] M. Xie, H. K. Shon, S. R. Gray, M. Elimelech, Membrane-Based Processes for Wastewater Nutrient Recovery: Technology, Challenges, and Future Direction, *Water Research*, Vol. 89, 2016, pp. 210-221, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.11.045>.
- [8] V. K. Gupta, H. Sadegh, M. Yari, R. S. Ghoshekandi, B. Maazinejad, M. Chahardori, Removal of Ammonium Ions from Wastewater: A Short Review in Development of Efficient Methods, *Global Journal of Environmental Science and Management*, Vol. 1, 2015, pp. 149-158, <https://doi.org/10.7508/gjesm.2015.02.007>.
- [9] X. Yang, Y. Wan, Y. Zheng, F. He, Z. Yu, J. Huang, H. Wang, Y. S. Ok, Y. Jiang, B. Gao, Surface Functional Groups of Carbon-Based Adsorbents and Their Roles in the Removal of Heavy Metals from Aqueous Solutions: A Critical Review, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Vol. 49, 2019, pp. 356-447, <https://doi.org/10.1016/j.ccej.2019.02.119>.
- [10] T. V. Son, L. H. Giang, L. D. Manh, N. M. Khai, Ammonium Removal and Recovery from Industrial Wastewater Using Distillation Method, *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, Vol. 40, No. 1S, 2024, pp. 1-8, <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5187>.
- [11] I. Neme, G. Gonfa, C. Masi, Activated Carbon from Biomass Precursors Using Phosphoric Acid: A Review, *Heliyon*, Vol. 8, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11940>.
- [12] V. T. Mai, T. V. Tuyen, Research on Ammonium Removal from Aqueous Solution Using Modified Corn-cob-biochar by H_3PO_4 and NaOH, *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, Vol. 32, 1S, 2016 (in Vietnamese), <https://js.vnu.edu.vn/EES/article/view/2779>.
- [13] A. Sasongko, R. W. Nugroho, D. Mulyani, Ammonia Determination in Bottled Water Using Spectrophotometer: Comparison Between Nessler and Berthelot Methods, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 106, 2018, pp. 012077, <https://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=839603&val=5110&title=Ammonia%20Determination%20In%20Bottled%20Water%20Using%20Spectrophotometer%20%20Comparison%20Between%20Nessler%20And%20Berthelot%20Methods> (accessed on: August 1st, 2025)
- [14] S. M. A. E. Gamal, A. M. Zayed, E. A. Abdelrahman, A. M. E. Kamash, M. I. A. Abdel Maksoud, A. H. Ragab, Corn-cob Biochar Activation by Phosphoric Acid and Hydrogen Peroxide for Enhancing Ammonium Adsorption, *Chemosphere*, Vol. 310, 2023, pp. 136802, <https://doi.org/10.21608/ijasri.2023.236421.1007>.
- [15] B. T. L. Anh, Study on the Preparation of Adsorbent Material from Coconut Coir for Ammonium Removal in Hospital Wastewater, Master's Thesis, VNU University of Science, Hanoi, 2016 (in Vietnamese).
- [16] M. D. G. D. Luna, C. M. Futralan, C. A. Jurado, J. I. Colades, M. W. Wan, Removal of Ammonium-Nitrogen from Aqueous Solution Using Chitosan-Coated Bentonite: Mechanism and Effect of Operating Parameters, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 135, 2018, pp. 45803, https://doi.org/10.1002/app.45924?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.
- [17] S. Be, S. Vinitnantharat, A. Pinisakul, Effect of Mangrove Biochar Residue Amended Shrimp Pond Sediment on Nitrogen Adsorption and Leaching, *Sustainability*, Vol. 13, 2021, pp. 7230, <https://doi.org/10.3390/su13137230>.
- [18] K. A. Wystalska, Kwarciak-Kozłowska, The Effects of Using Biochar to Remove Ammonium Nitrogen Generated During the Processing of Biodegradable Waste, *Desalination and Water Treatment*, Vol. 225, 2021, pp. 203-213, <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27226>.
- [19] T. M. Vu, D. P. Doan, H. T. Van, T. V. Nguyen, S. Vigneswaran, H. H. Ngo, Removing Ammonium from Water Using Modified Corn-cob-Biochar, *Science of the Total Environment*, Vol. 579, 2017, pp. 612-619, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.050>.
- [20] A. A. Halim, M. T. Latif, A. Ithnin, Ammonia Removal from Aqueous Solution Using Organic Acid Modified Activated Carbon, *World Applied Sciences Journal*, Vol. 21, 2013, pp. 144-149, <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.24.01.7454>.