

Nghiên cứu khả năng xử lý amoni trong môi trường nước của than sinh học từ lõi ngô biến tính bằng H_3PO_4 và NaOH

Vũ Thị Mai^{1,*}, Trịnh Văn Tuyên²

¹Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, 41A Phú Diễn, Hà Nội, Việt Nam

²Viện Công nghệ Môi trường, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, A30, 18 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 15 tháng 6 năm 2016

Chỉnh sửa ngày 20 tháng 7 năm 2016; Chấp nhận đăng ngày 06 tháng 9 năm 2016

Tóm tắt: Mục tiêu của nghiên cứu nhằm đánh giá khả năng hấp phụ của amoni môi trường nước bằng than sinh học từ lõi ngô biến tính bằng H_3PO_4 và NaOH. Đặc tính hóa lý của than sinh học biến tính được xác định bằng cách đo diện tích bề mặt riêng S_{bet} , chụp phổ hồng ngoại FTIR và chụp ảnh SEM. Kết quả nghiên cứu cho thấy quá trình hấp phụ tối ưu khi giá trị $pH \geq 7$, thời gian hấp phụ đạt cân bằng sau 60 phút, mô hình đẳng nhiệt theo Langmuir và Sips miêu tả tốt quá trình hấp phụ amoni trên than biến tính, dung lượng hấp phụ tối đa theo Langmuir đạt 16,6 mg/g. Động học quá trình hấp phụ amoni trên than biến đổi tuân theo mô hình động học bậc 2. Quá trình hấp phụ tuân thủ theo cả hai cơ chế hấp phụ hóa học và hấp phụ vật lý tùy thuộc vào pH của môi trường. Dựa vào dung lượng hấp phụ, chúng ta có thể khẳng định than biến đổi có tiềm năng để hấp phụ amoni trong dung dịch.

Từ khóa: Hấp phụ, amoni, than sinh học, lõi ngô.

1. Mở đầu

Ô nhiễm amoni trong nước ngầm đã và đang trở thành vấn đề bức xúc ở nước ta. Nước ngầm bị ô nhiễm amoni từ nhiều nguồn nước thải như nước thải nông nghiệp, công nghiệp và sinh hoạt. Các phương pháp truyền thống để xử lý amoni là phương pháp sinh học, trao đổi ion, hấp phụ... Trong đó, phương pháp hấp phụ thường được sử dụng và cho hiệu quả loại bỏ amoni tương đối cao [1]. Tuy nhiên, nhược điểm của các chất hấp phụ thương mại là giá thành cao và khó khăn trong việc tái sử dụng.

Do đó xu hướng dùng phế phụ phẩm nông nghiệp để sản xuất than hoạt tính, than sinh học để loại bỏ các chất ô nhiễm khác nhau trong môi trường nước đang được tập trung nghiên cứu.

Ngoài ra, dung lượng hấp phụ của than hoạt tính đối với amoni là hạn chế, dung lượng hấp phụ NH_3 của than hoạt tính thương mại vào khoảng 0,6 đến 4,7 mg/g [2]. Nghiên cứu của Moreno-Castilla đã chứng minh tính chất hóa học bề mặt của than quan trọng hơn diện tích bề mặt riêng khi hấp phụ amoni [3]. Có rất nhiều nghiên cứu đã sử dụng các chất oxy hóa để biến đổi bề mặt than hoạt tính nhằm tăng cường khả năng hấp phụ amoni ví dụ Azhar Abdul Halim và cộng sự [4] nghiên cứu loại bỏ amoni trong

* Tác giả liên hệ. ĐT.: 84-983093686
Email: vtmai@hunre.edu.vn

dung dịch bằng than hoạt tính biến tính bằng axit, than hoạt tính (AC) sau khi được ngâm với HNO_3 , tiếp tục được ngâm với NaOH (AC-RCOONa). Kết quả cho thấy dung lượng hấp phụ cực đại đối với amoni của than AC-RCOONa và than AC lần lượt là 19,34 mg/g và 4,5 mg/g khi nồng độ amoni đầu vào là 685-735 mg/l.

Tác giả Kyoung S. Ro và cộng sự [5] đã nghiên cứu loại bỏ khí NH_3 bằng than sinh học và than cacbon hoạt hóa bằng hơi nước và than sinh học hoạt hóa bằng H_3PO_4 . Kết quả chỉ ra rằng than hoạt hóa bằng H_3PO_4 cho khả năng hấp phụ khí NH_3 cao 5 lần so với than sinh học bằng hơi nước.

Lõi ngô là một trong những nguồn biomass thải lớn ở Việt Nam. Để tăng cường giá trị kinh tế, lõi ngô được tận dụng để tạo ra than sinh học để loại bỏ các chất ô nhiễm trong môi trường nước như là amoni.

Trong nghiên cứu này lõi ngô được ngâm với H_3PO_4 sau đó nung tại 400°C , than tạo thành được ngâm với NaOH để tăng hiệu quả trong việc hấp phụ amoni. Mục tiêu của bài báo này là đánh giá hiệu quả của vật liệu này để loại bỏ amoni trong nước thông qua nghiên cứu đẳng nhiệt và động học.

2. Thực nghiệm và vật liệu

Chế tạo vật liệu hấp phụ: Lõi ngô được rửa sạch, làm khô, nghiền và rây đến kích thước 0,5-2mm. Sau đó lõi ngô ngâm với axit H_3PO_4 50% trong 24h và nung trong lò nung tại 400°C . Sản phẩm được rửa sạch bằng nước cất đến khi pH không đổi pH = 5-6 và được đặt tên là Than BioP. Than BioP tiếp tục được ngâm với NaOH trong vòng 24h sau đó rửa lại bằng nước cất đến pH không đổi. Cụ thể qui trình chế tạo than theo tài liệu [6]. Mẫu nghiên cứu là mẫu nước tự pha trong phòng thí nghiệm sử dụng chất chuẩn NH_4Cl .

Nghiên cứu đặc trưng cấu trúc của than sinh học biến đổi: Đặc tính hóa lý của than biến tính từ lõi ngô được đánh giá thông qua việc xác định diện tích bề mặt riêng S_{bet} trên máy

ASAP-200, chụp ảnh bề mặt SEM bằng máy S-4800 (FE-SEM, Hitachi). Nhóm chức bề mặt của than được đánh giá bằng phổ hồng ngoại trên máy FTIR, NEXUS 670, Nicolet, điểm đẳng điện của vật liệu pH_{pzc} được xác định theo tài liệu [7].

Thực nghiệm quá trình hấp phụ: Thực nghiệm được tiến hành trên Thiết bị Jarrest (model: JLT6 Jar test/Flocclulator, Italy), tốc độ 100 vòng/phút với 250 ml dung dịch amoni và 0,5 g than. Nghiên cứu ảnh hưởng của pH được tiến hành tại khoảng pH từ 4 đến 9 trong khoảng thời gian 120 phút, nồng độ amoni đầu vào là 10; 20; 40 mg/l (pH được điều chỉnh bằng dung dịch NaOH 0,1 N và HCl 0,1 N). Để nghiên cứu động học hấp phụ, mỗi hỗn hợp amoni và chất hấp phụ được tiến hành tại các giá trị thời gian khác nhau 5; 10; 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150 phút tại nồng độ amoni ban đầu là 10 và 20 mg/l, pH = 7.

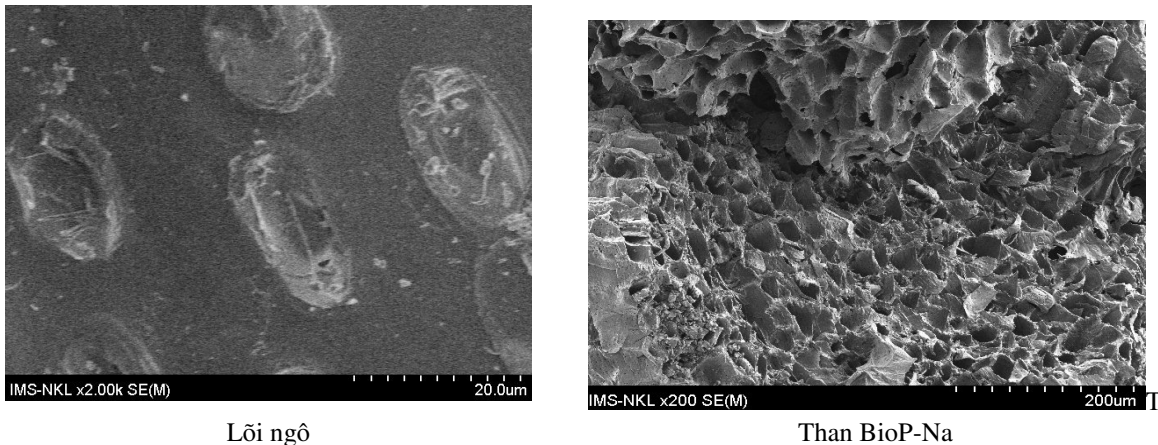
Nồng độ amoni trong dung dịch được xác định bằng phương pháp so màu tại bước sóng 640 nm sử dụng máy UV-Vis spectrophotometer (DR5000, Hach).

Hiệu quả hấp phụ amoni được đánh giá thông qua dung lượng hấp phụ cân bằng q_e (mg/g) được tính toán bằng cân bằng chuyển khối $q_e = (C_o - C_e)V / W$ Trong đó, C_o và C_e (mg/l) là nồng độ amoni đầu vào và đầu ra, V (l) là thể tích dung dịch hấp phụ và W (mg) là khối lượng than hấp phụ.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Tính chất của than sinh học biến tính

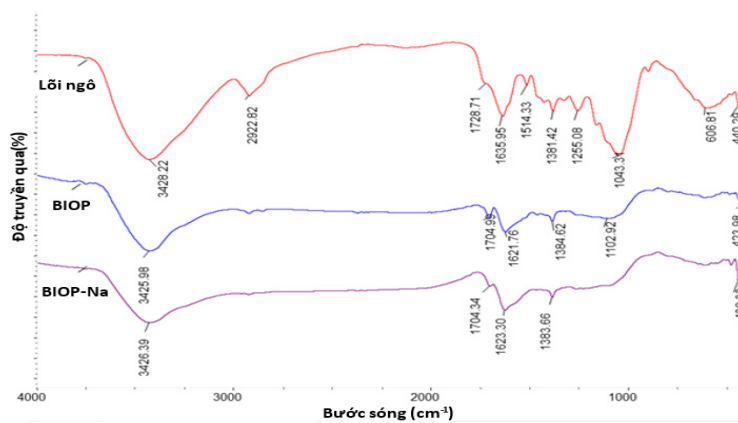
Ảnh SEM của vật liệu trước khi biến tính (lõi ngô) và than sau khi biến tính BioP-Na được thể hiện trên hình 1. Kết quả cho thấy, cấu trúc của than sau khi biến tính bằng H_3PO_4 và NaOH có cấu trúc rỗng xốp với nhiều mao quản nhỏ. Kết quả đo diện tích bề mặt riêng và kích thước lỗ xốp cho thấy than BioP-Na có diện tích bề mặt riêng (S_{bet}) và kích thước lỗ trung bình là $1046\text{m}^2/\text{g}$ và 30A° . Dải phân bố mao quản của than BioP-Na có cực đại ở 20nm, dải phân bố mao quản từ 20 đến 100nm.



Lõi ngô

Than BioP-Na

Hình 1. Hình ảnh SEM của lõi ngô và than biến tính.



Hình 2. Hình ảnh phổ hồng ngoại của lõi ngô, than BioP, BioP-Na.

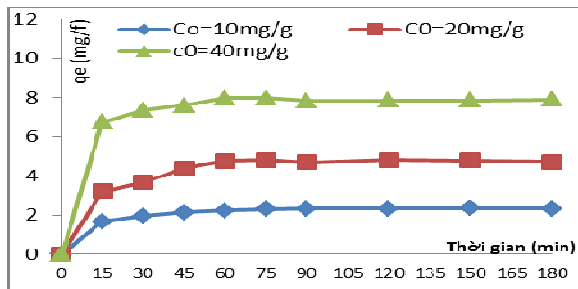
Kết quả phân tích phổ FTIR (hình 2) cũng cho thấy Than BioP và BioP-Na được hoạt hóa từ lõi ngô có sự dịch chuyển phổ. Mẫu lõi ngô xuất hiện các hấp thụ đặc trưng của nhóm hydroxyl tại 3428 cm^{-1} và nhóm C=C tại 1636 cm^{-1} , liên kết C-H tại 2922 cm^{-1} . Nhóm O-H và C=C xuất hiện ở than BioP và BioP-Na (tại pick $3425\text{-}3426\text{ cm}^{-1}$ và $1623\text{-}1621\text{ cm}^{-1}$, tương ứng). Tuy nhiên quá trình biến tính than bằng H_3PO_4 và NaOH làm dịch chuyển phổ tại nhóm chức C=O (pick 1728 cm^{-1} trên lõi ngô dịch chuyển thành 1704 cm^{-1} trên than BioP và BioP-Na). Mặt khác, quá trình hoạt hóa và biến đổi cũng làm biến mất nhóm chức C-H và C-C (2922 cm^{-1} và 1043 cm^{-1} tương ứng). Kết quả này chỉ ra rằng nhóm chức axit cacboxylic đã phát triển trên than BioP và BioP-Na. Trên hình

2 cũng cho thấy cường độ của nhóm O-H và C=O trên than BioP-Na thấp hơn trên than BioP. Điều này được giải thích do nhóm cacboxylic đã phản ứng với nhóm OH^- khi than BioP biến đổi bằng NaOH.

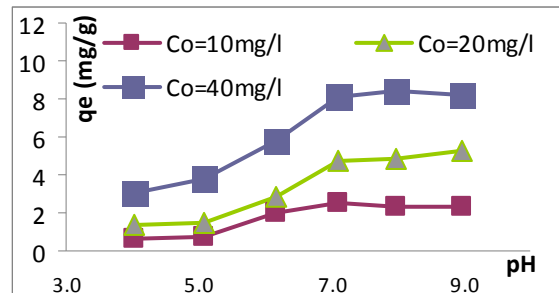
3.3. Kết quả nghiên cứu hấp phụ N-NH_4^+ của than biến đổi

Ảnh hưởng của thời gian

Ảnh hưởng của thời gian đến quá trình hấp phụ amoni được thể hiện trên hình 3. N-NH_4^+ bị loại bỏ nhanh trong 30 phút đầu và đạt cân bằng tại thời điểm 60 phút. Dung lượng hấp phụ tại thời điểm cân bằng đạt $2,23\text{ mg/g}$; $4,75\text{ mg/g}$ và $8,0\text{ mg/g}$ tương ứng với nồng độ đầu vào là 10, 20 và 40 mg/l .



Hình 3. Ảnh hưởng của thời gian đến dung lượng hấp phụ N-NH₄⁺ của than BioP-Na.



Hình 4. Ảnh hưởng của pH đến dung lượng hấp phụ N-NH₄⁺ của than BioP-Na.

Ảnh hưởng của pH

Đặc tính bề mặt của chất hấp phụ, trạng thái ion của nhóm chức bề mặt than phụ thuộc vào pH. Trong dung dịch, amoni tồn tại chủ yếu ở dạng NH₄⁺ và NH₃. Khi pH < 7 dạng tồn tại chủ yếu trong dung dịch là NH₄⁺ [8]. Điểm đẳng điện của vật liệu pH_{pzc} là điểm mà tại đó thế zeta bằng không, đây là đặc điểm quan trọng của vật liệu.

Khi pH < 5 do cạnh tranh của NH₄⁺ với ion H⁺ trong môi trường nước nên dung lượng hấp phụ amoni của vật liệu rất thấp. Trong khoảng pH từ 5 đến 7, pH tăng thì khả năng hấp phụ amoni tăng. Khi pH > 7 khả năng hấp phụ amoni đạt ổn định. Ngoài ra khi xác định pH_{pzc} (điểm đẳng điện của vật liệu)

Có thể giải thích như sau khi pH < pH_{pzc} (pH_{pzc} của than BioP-Na là 7,1) bề mặt vật liệu mang điện tích dương, quá trình hấp phụ xảy ra

khi pH < 7,1 theo cơ chế trao đổi ion chiếm ưu thế hơn so với cơ chế hút tĩnh điện. Cơ chế trao đổi ion giữa amoni và than BioP-Na cũng được khẳng định trong một số nghiên cứu [9, 10], cụ thể ion H⁺ trong nhóm chức axit (R-COOH), hoặc ion Na⁺ trong muối axit (R-COONa) trên than đã trao đổi ion với ion NH₄⁺ theo phản ứng sau: RCOOH + NH₄⁺ → RCOONH₄⁺ + H⁺ hoặc RCOONa + NH₄⁺ → RCOONH₄⁺ + Na⁺.

Tuy nhiên, khi pH > pH_{pzc} bề mặt vật liệu mang điện tích âm, quá trình hấp phụ theo cơ chế hút tĩnh điện chiếm ưu thế hơn so với cơ chế trao đổi ion, kết quả này giống với kết quả của một số nghiên cứu trước [11, 12].

Đẳng nhiệt hấp phụ

Cân bằng đẳng nhiệt của than BioP-Na với amoni được miêu tả bằng đường đẳng nhiệt Langmuir, Freundlich and Sips.

$$q_e = \frac{q_m b C_e}{1 + b C_e} \quad (1)$$

Langmuir

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (2)$$

Freudlich

$$q_e = \frac{q_m (b C_e)^{1/n}}{1 + (b C_e)^{1/n}} \quad (3)$$

Sips

Mô hình Langmuir được miêu tả trong công thức (1), trong đó C_e là nồng độ cân bằng (mg/L), b là hệ số Langmuir liên quan đến năng lượng liên kết của hấp phụ (L/mg), và q_m là dung lượng hấp phụ đơn lớp của hấp phụ (mg/g).

Đường đẳng nhiệt Freundlich là công thức thực nghiệm được phát triển dựa vào giả thuyết chất hấp phụ có bề mặt dị thể gồm những lớp vị trí hấp phụ khác nhau và những vị trí này có thể được mô hình hóa bằng công thức số (2). K_F

(mg/g) là hệ số Freundlich chỉ dung lượng hấp phụ của chất hấp phụ và n là hệ số thực nghiệm chỉ xu hướng của quá trình hấp phụ.

Mô hình Sips là mô hình thực nghiệm biểu thị dữ liệu hấp phụ cân bằng. Mô hình đẳng nhiệt này có đặc điểm của cả mô hình Langmuir và Freundlich, mô hình Sips là mô hình 3 thông số gồm có: q_m dung lượng hấp phụ cực đại (mg/g), b hệ số của mô hình (L/mg) và n là hệ số thực nghiệm chỉ xu hướng của quá trình hấp phụ. Công thức của mô hình Sips được mô tả tại công thức (3).

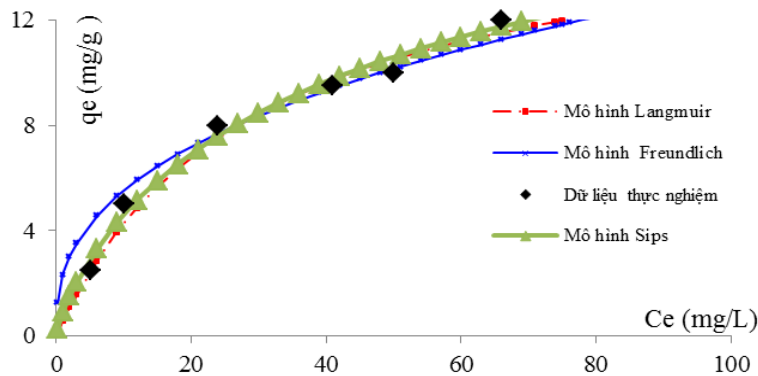
Các thông số của mô hình Langmuir, Sips và Freundlich có thể xác định bằng phương pháp phi tuyến, kết quả được chỉ ra tại bảng 1.

Kết quả bảng 1 cho thấy hệ số quan hệ R^2 đạt được từ mô hình Langmuir, Sips là gần 1 và lớn hơn mô hình Freundlich, điều này gợi ý rằng mô hình Langmuir, Sips phù hợp với dữ liệu hấp phụ amoni và BioP-Na.

Dung lượng hấp phụ tối ưu (theo thuyết hấp phụ đơn lớp) của than sinh học ở nhiệt độ 400°C trong nghiên cứu trước chỉ đạt là 3,93 mg/g [13] trong khi dung lượng hấp phụ của than sau biến đổi BioP-Na là 16,6 mg/g. Điều này chứng minh khi biến tính than sinh học bằng H_3PO_4 và NaOH đã làm tăng dung lượng hấp phụ của than lên đáng kể.

Bảng 1. Các thông số của các mô hình đẳng nhiệt

	Mô hình Freundlich			Mô hình Langmuir			Mô hình Sips			
	R^2	K_F	$1/n$	R^2	q_m (mg/g)	b	R^2	$1/n$	q_m (mg/g)	b
Than BioP-Na	0,9425	2,320	0,3773	0,9840	16,6	0,034	0,9866	0,7996	21,05	0,044



Hình 5. Đẳng nhiệt hấp phụ theo mô hình Langmuir, Freundlich và Sips và thực nghiệm.

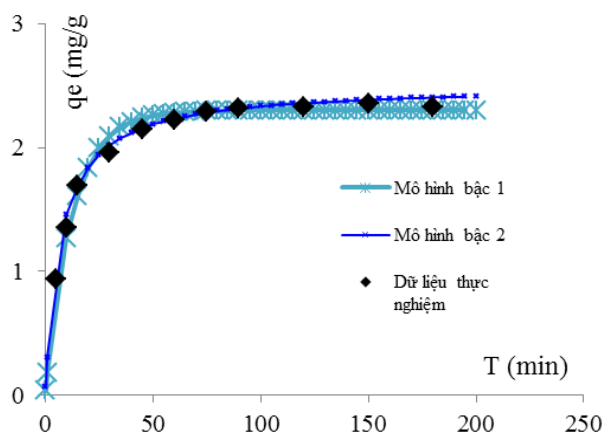
Động học hấp phụ

Động học hấp phụ của than BioP-Na được miêu tả thông qua việc so sánh dữ liệu thực nghiệm được so sánh với các mô hình động học khác nhau như mô hình động học bậc 1, mô hình động học bậc 2. Các công thức tính toán mô hình được hiển thị ở dưới đây:

$$\text{Mô hình bậc 1: } q_t = q_e - q_e e^{-k_1 t} \quad (4)$$

$$\text{Mô hình bậc 2} \quad : \quad q_t = \frac{k_2 q_e^2 t}{1 + k_2 q_e t} \quad (5)$$

Trong đó, q_e : dung lượng hấp phụ tại cân bằng; k_1, k_2 là hằng số của mô hình bậc 1, bậc 2.



Hình 6. Động học quá trình hấp phụ theo mô hình bậc 1, bậc 2, và dữ liệu thực nghiệm.

Trong nghiên cứu động học, sai số tương đối trung bình (ARE) cũng được tính toán:

$$ARE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{q_{te} - q_m}{q_{te}} \right|_i$$

Trong đó q_{te} (mg/g): lượng $N-NH_4^+$ hấp phụ trên than BioP-Na, xác định thông qua thực nghiệm, q_m (mg/g): lượng $N-NH_4^+$ bị hấp phụ theo tính toán của mô hình, N: số thực nghiệm. Đối ngược với hằng số R^2 , mô hình động học miêu tả tốt quá trình hấp phụ là mô hình có ARE nhỏ hơn.

Kết quả tính toán theo các mô hình và dữ liệu thực nghiệm được mô tả trên hình 6. Các thông số của các mô hình được tóm tắt trong bảng 2. Kết quả cho thấy mô hình động học bậc 2 miêu tả tốt dữ liệu thực nghiệm vì có R^2 cao nhất (0,987) and ARE thấp nhất (2,429). Điều này có thể khẳng định quá trình hấp phụ $N-NH_4^+$ của than BioP-Na tuân theo động học bậc 2 và tốc độ hấp phụ được kiểm soát bằng quá trình hóa học.

Bảng 2. Các thông số của mô hình động học quá trình hấp phụ amoni của than BioP-Na

Mô hình	Thông số	Giá trị	Mô hình	Thông số	Giá trị
Mô hình bậc 1	q_e	2,3	Mô hình bậc 2	q_e	2,5
	K_1	0,080		K_2	0,055
	R^2	0,965		R^2	0,987
	ARE	4,435		ARE	2,429

4. Kết luận

Thực nghiệm quá trình hấp phụ $N-NH_4^+$ đã được tiến hành với các điều kiện khác nhau: thời gian, pH, nồng độ dung dịch ban đầu. Quá trình hấp phụ trên than cacbon hóa từ lõi ngô biến tính bằng H_3PO_4 và NaOH. Kết quả nghiên cứu cho thấy quá trình hấp phụ diễn ra tốt khi $pH \geq 7$ và sau 60 phút thì đạt cân bằng hấp phụ.

Nghiên cứu đẳng nhiệt hấp phụ chứng tỏ quá trình hấp phụ $N-NH_4^+$ trên bề mặt than sinh học biến tính tuân theo mô hình Langmuir, dung lượng hấp phụ cực đại đạt được khá cao 16,6 mg/g. Mô hình động học bậc 2 mô tả tốt động học hấp phụ. Cơ chế của quá trình hấp phụ bao gồm cả vật lý và hóa học. Kết quả này chỉ ra rằng sinh học biến tính từ lõi ngô có tiềm năng

trở thành chất hấp phụ loại bỏ amoni trong môi trường nước.

Tài liệu tham khảo

- [1] Moradi, O, The removal of ions by functionalized carbon nanotube: equilibrium, isotherms and thermodynamic studies, Chemical and Biochemical Engineering, 25 (2011) 229.
- [2] Chun Yang Yin, Chun Yang Yin, Mohd Kheireddine Aroua, Wan Mohd Ashri Wan Daud, Review of modifications of activated carbon for enhancing contaminant uptakes from aqueous solutions, Separation purification technology (2006).
- [3] Moreno-Castilla, C., López-Ramón, M.V., Crrasco-Marín, F. 2000 Changes in surface chemistry of activated carbons by wet oxidation. Carbon 38 (2000) 1995.
- [4] Azhar Abdul Halim, Mohd Talib Latif and Anuar Ithnin, Ammonia Removal from Aqueous Solution Using Organic Acid Modified Activated Carbon, World Applied Sciences Journal, 24 (2013) 01.
- [5] Kyoung S. Ro, Isabel M. Lima, Guidqopuram B. Reddy, Michael A. Jackson and Bin Gao, Removing Gaseous NH₃ Using Biochar as an Adsorbent, (2015).
- [6] Vu Thi Mai, Trinh Van Tuyen, Modification of Charcoal from Corn-cob for Enhancement of Ammonium Removal from Ground Water, Research collaboration : review and perspective proceedings of the 7th VAST – AIST workshop, 2015 (17).
- [7] Marek Kosmulski, “The pH-Dependent Surface Charging and the Points of Zero Charge III update”, Journal of Colloid and Interface Science 298 (2006) 730.
- [8] Marañón, E., Ulmanu, M., Fernández, Y., Anger, I., Castrillón, L. Removal of ammonium from aqueous solutions with volcanic tuff. Journal of Hazardous Materials 137 (2006) 1402.
- [9] Zeng, Z., Zhang S.D., Li, T.Q., Zhao, F.L, He, Z.L., Zhao, H.P., Yang X., Hai-long W., Zhao H.L., Rafiq, M.T, Sorption of ammonium and phosphate from aqueous solution by biochar derived from phytoremediation plants, Journal of Zhejiang University Science 14 (2013) 1152.
- [10] Halim, A.A., Latif, M.T., Ithnin, A. Ammonia removal from aqueous solution using organic acid modified activated carbon. World Applied Sciences Journal 24 (2013) 01.
- [11] Vassileva, P., Tzvetkova, R., Nickolov, R, Removal of ammonium ions from aqueous solutions with coal-based activated carbons modified by oxidation, Fuel 88 (2008) 387.
- [12] Guo, J., Xu, W.S., Chen, Y.L., Lua, A.C. Adsorption of NH₃ onto activated carbon prepared from palm shells impregnated with H₂SO₄. Journal of Colloid and Interface Science 281 (2005) 285.
- [13] Vũ Thị Mai, Trịnh Văn Tuyên, Experimental treatment of groundwater in Hanoi by carbonized products from corn-cob waste Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm KHCN Việt Nam, 52 (2014) 104.

Research on Ammonium Removal from Aqueous Solution Using Modified Corncob-biochar by H₃PO₄ and NaOH

Vu Thi Mai¹, Trinh Van Tuyen²

¹Hanoi University of Natural Resources and Environment,
Ministry of Natural Resources and Environment, 41A Phu Dien, Hanoi, Vietnam

²Institute of Environmental Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, A30,
18 Hoang Quoc Viet, Hanoi, Vietnam

Abstract: This study focused on the development of a low cost adsorbent, specifically a modified biochar prepared from corncob (by modified by H₃PO₄ and NaOH). Main purpose of research is an

evaluation of the ammonium removal efficiency from aqueous solution by using this new bio-adsorbent. The characteristics of the modified biochar were determined by Brunauer-Emmett-Teller (BET) test, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and Scanning electron microscopy (SEM). The highest adsorption capacity of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (16.6mg/g) was found at $\text{pH} \geq 7$, sufficient time to attain equilibrium was 60min. Adsorption kinetics of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ using modified biochar followed the pseudo-second order kinetic model. Both Langmuir and Sips adsorption isotherm models could simulate well the adsorption behavior of ammonium on modified biochar. The mechanism of adsorption process was complied with both physical and chemical adsorptions. The high adsorption capacity of the modified biochar suggested that it is a promising adsorbent for $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in water.

Keywords: Adsorption, Ammonium, Biochar, Corncob.