

# Loại bỏ kháng sinh doxycycline trong nước bằng vật liệu hấp phụ có nguồn gốc từ vỏ chuối

Võ Thị Diệu Hiền<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Văn Trực<sup>2</sup>, Nguyễn Thị Hoa<sup>2</sup>

## TÓM TẮT

Nghiên cứu này đã đánh giá hiệu quả loại bỏ kháng sinh doxycycline (DOX) của vật liệu than sinh học (TSH) được điều chế từ vỏ chuối với các nhiệt độ khác nhau. Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ kháng sinh (bao gồm pH, nồng độ DOX ban đầu, thời gian tiếp xúc, liều lượng TSH) đã được nghiên cứu. Kết quả cho thấy rằng TSH được tạo ra ở nhiệt độ cao (800°C) và biến tính KOH (BP-KOH), có khả năng hấp phụ kháng sinh cao hơn so với nhiệt độ thấp (không nhiệt phân và nhiệt phân 500°C, tương ứng BP và BP500). Đặc tính của vật liệu được xác định bằng các phương pháp kính hiển vi điện tử (SEM), phương pháp phân tích FTIR, phương pháp xác định điện thế zeta, phương pháp phân tích BET. Qua ảnh SEM cho thấy vật liệu chế tạo được có chứa nhiều lỗ xốp. Phổ FTIR chỉ ra rằng vật liệu chế tạo được có chứa các nhóm chức bề mặt như O – H, C – H, C – C,... Kết quả phân tích BET cho thấy diện tích bề mặt của BP-KOH đạt cao nhất (710,214 m<sup>2</sup>/g). Khả năng hấp phụ DOX (120 mg/L) của BP-KOH thu được hiệu suất xử lý cao đạt 97,9% với thời gian hấp phụ trong 1440 phút (24 h) với pH tối ưu bằng 6. Kết quả nghiên cứu cho thấy, vật liệu TSH được chế tạo từ vỏ chuối có tiềm năng lớn trong việc ứng dụng xử lý kháng sinh trong nước.

**Từ khóa:** Doxycycline, Hấp phụ đẳng nhiệt, Than sinh học, Vỏ chuối

<sup>1</sup>Khoa Kỹ thuật Thực phẩm và Môi trường, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

<sup>2</sup>Khoa Môi trường, Trường Đại học Sài Gòn, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

## Liên hệ

Võ Thị Diệu Hiền, Khoa Kỹ thuật Thực phẩm và Môi trường, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: vtdhien@ntt.edu.vn

## Lịch sử

- Ngày nhận: 20-5-2023
- Ngày chấp nhận: 24-9-2023
- Ngày đăng: 31-12-2023

## DOI:

<https://doi.org/10.32508/stdjsec.v7i2.736>



## Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



## GIỚI THIỆU

Ngày nay, các dịch vụ chăm sóc y tế không ngừng phát triển nhằm đảm bảo sức khỏe cho con người. Cùng với đó thì vấn đề về lượng nước thải phát sinh từ các cơ sở y tế ngày càng gia tăng. Theo thống kê của Cục Quản lý Môi trường Y tế, ước tính các cơ sở y tế trên cả nước hàng ngày phát sinh khoảng 125.000 m<sup>3</sup> nước thải y tế<sup>1</sup>. Đáng chú ý là các loại thuốc kháng sinh (penicillin, cehalosporin, monobactam, aminosid, amoxicillin,...) chiếm tỉ lệ khá lớn trong nước thải y tế. Doxycycline (C<sub>22</sub>H<sub>24</sub>N<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) (DOX) là một loại kháng sinh phổ biến được sử dụng để điều trị nhiều loại vi khuẩn gây bệnh, bao gồm cả vi khuẩn gây bệnh trên da (mụn trứng cá), đường tiêu hóa (ruột), hô hấp (phổi), mắt (mắt) và nha chu (nướu),... ước tính có khoảng 10–40% kháng sinh được cơ thể con người hấp thụ, phần lớn chúng sẽ được thải vào môi trường nước<sup>2</sup>. Do tác dụng gây độc tế bào cao, dư lượng DOX trong môi trường tích lũy trong hệ sinh thái và trong chuỗi thức ăn từ đó sẽ ảnh hưởng đến sức khỏe con người<sup>3,4</sup>. Trong những năm gần đây, dư lượng kháng sinh trong nguồn nước là vấn đề quan tâm của rất nhiều nhà khoa học. Nhiều công nghệ đã được nghiên cứu rộng rãi để xử lý kháng sinh, bao gồm các quá trình sinh học kỵ khí và hiếu khí<sup>5</sup>, quá trình oxy hóa nâng cao<sup>6</sup> và hấp phụ<sup>7</sup>. Trong đó, quá trình hấp phụ đã thu hút được sự chú ý của các nhà

khoa học<sup>8</sup>. Than sinh học (TSH) là một loại vật liệu hấp phụ, là một trong những vật liệu có tiềm năng cao trong việc xử lý nước thải bởi tính ổn định hóa học, có cấu trúc xốp, diện tích bề mặt lớn, giàu nhóm chức và các chất khoáng<sup>9–11</sup>. Ngoài ra, các nghiên cứu gần đây còn chỉ ra rằng, TSH là vật liệu tiềm năng được sử dụng làm vật liệu hấp phụ nhằm loại bỏ các chất ô nhiễm trong nước thải y tế, chẳng hạn như doxycycline<sup>12</sup>, tetracycline<sup>13</sup>, norfloxacin<sup>14</sup>,... tận dụng nguồn sinh khối từ phụ phẩm nông nghiệp, chế tạo vật liệu hấp phụ ứng dụng xử lý môi trường là hướng đi phù hợp với phong trào không chất thải cũng như nền kinh tế tuần hoàn<sup>8</sup>. Ở Việt Nam, chuối có thể thu hoạch quanh năm, đạt trung bình 2,1 triệu tấn/năm, theo thống kê của Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, năm 2020, sản lượng chuối là 2,19 triệu tấn. Sản lượng chuối của Việt Nam tăng từ 470.000 tấn năm 1971 lên 2,19 triệu tấn năm 2020. Vì vậy, inh khối vỏ chuối có số lượng lớn, tận dụng nguồn phụ phẩm nông nghiệp, điều chế vật liệu hấp phụ ứng dụng xử lý ô nhiễm môi trường là giải pháp xanh. Trong nghiên cứu này, vỏ chuối được tận dụng để điều chế TSH và được ứng dụng để loại bỏ DOX trong nước. Đặc tính của TSH về hình thái, cấu trúc cũng được khảo sát. Đồng thời, thử nghiệm các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng loại bỏ DOX trong nước bởi TSH như pH dung dịch, nồng độ DOX ban đầu, liều lượng TSH, thời gian tiếp xúc cũng được thực hiện.

**Trích dẫn bài báo này:** Hiền VT D, Trực NV, Hoa NT. Loại bỏ kháng sinh doxycycline trong nước bằng vật liệu hấp phụ có nguồn gốc từ vỏ chuối. *Sci. Tech. Dev. J. - Sci. Earth Environ.* 2023; 7(2):728-740.

## VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

### Hóa chất

Hóa chất được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: acid hydrochloric (HCl), sodium hydroxide (NaOH), potassium hydroxide (KOH), xuất xứ từ Merck, Đức. Chất chuẩn doxycycline ( $C_{22}H_{24}N_2O_8$ ) (DOX) được mua tại Viện kiểm nghiệm thuốc Thành phố Hồ Chí Minh. Dung dịch được pha ở nồng độ 200 mg/L bằng cách cân 100 mg DOX định mức bình 500 mL, sau đó đem bảo quản và pha loãng nồng độ thấp hơn khi cần để dùng cho các thí nghiệm sau. Nước sử dụng là nước cất qua lọc bằng máy lọc nước siêu sạch (EASY-pure II RF của Thermo Scientific, Mỹ).

### Điều chế vật liệu

Điều chế TSH được thực hiện dựa theo nghiên cứu của Nguyen và cộng sự<sup>15</sup> và được trình bày chi tiết như sau: vỏ chuối xiêm (*Musa acuminata x balbisiana colla*) tươi rửa sạch, cắt nhỏ khoảng 2-3 cm, sấy khô ở nhiệt độ 80°C trong 1 ngày. Sau đó, xay nhuyễn nhỏ, sàng rây đến kích thước hạt < 0,075 mm, thu được vật liệu thô ban đầu, ký hiệu BP. Vật liệu thô BP được nhiệt phân bằng lò nung (Model VMF 10/6, Vương Quốc Anh) ở nhiệt độ 500°C, tốc độ gia nhiệt 10°C/phút, thời gian giữ nhiệt trong 2 giờ, trong điều kiện hạn chế oxy, dòng khí nitơ với lưu lượng 100 mL/phút được cung cấp trong suốt quá trình nhiệt phân<sup>16</sup> tạo thành TSH. Dùng giấy lọc Whatman® 0,45-μm và nước cất rửa TSH một vài lần. Sau đó TSH được cho vào tủ sấy để sấy khô ở nhiệt độ 80°C và được ký hiệu BP500. Trộn BP500 với KOH theo tỉ lệ 1:4 về khối lượng<sup>14</sup>, 10 mL nước cất thêm vào và khuấy từ mạnh trong vòng 2 giờ. Sau đó đem sấy hỗn hợp ở 140°C trong 3 giờ. Hỗn hợp sấy khô được đem nhiệt phân ở 800°C trong điều kiện hạn chế oxy trong 2 giờ. Để hạn chế oxy, dòng khí N<sub>2</sub> được cấp vào lò nung với tốc độ 100 mL/phút. Vật liệu đã nhiệt phân được rửa với dung dịch 1M HCl và nước cất đến khi pH bằng 7<sup>17</sup>. Cuối cùng đem vật liệu được sấy ở 80 °C và được ký hiệu BP-KOH. Sản phẩm BP, BP500 và BP-KOH được bảo quản trong bình hút ẩm.

### Các thí nghiệm hấp phụ doxycycline

Các thí nghiệm hấp phụ DOX được thực hiện với các ống nghiệm polyethylene 50 mL có thể tích phân ứng 30 mL. pH của dung dịch được điều chỉnh khi cần thiết bằng dung dịch HCl 0,1M hoặc dung dịch NaOH 0,1 M và đo pH được thực hiện bằng máy đo pH Milwaukee Mi150 (Rumania). Máy lắc Jeio Tech OS-2000 (Hàn Quốc) được sử dụng trong nghiên cứu này, các thông số được cài đặt giống nhau trong mỗi thử nghiệm: tốc độ lắc là 150 vòng/phút, thời gian lắc

là 24 giờ và nhiệt độ là 25°C. Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng hấp phụ DOX bởi TSH, bao gồm: pH dung dịch, nồng độ DOX ban đầu, thời gian hấp phụ, khối lượng TSH. Các điều kiện khảo sát được trình bày chi tiết trong Bảng 1. Các thí nghiệm đẳng nhiệt hấp phụ được thực hiện ở nồng độ DOX ban đầu trong khoảng từ 10 đến 120 mg/L và liều lượng BP-KOH là 1 g/L. Dung dịch sau khi hấp phụ được lọc qua giấy lọc Whatman® 0,45-μm để loại bỏ TSH ra khỏi dung dịch. Dung dịch sau lọc được phân tích nồng độ DOX bằng cách sử dụng máy quang phổ Dynamica Halo XB-10 UV-VIS (Vương quốc Anh) với bước sóng 300 nm. Tất cả các thí nghiệm khảo sát đều được làm lặp 3 lần. Dữ liệu đưa ra trong nghiên cứu này là kết quả trung bình của thí nghiệm ba lần lặp lại. Số liệu được tính toán và xử lý bằng phần mềm Microsoft Excel 2010 và Origin 2021.

### Các phương pháp phân tích đặc tính của than sinh học

Đặc tính của TSH được phân tích bởi các kỹ thuật SEM, FTIR và BET. Mẫu TSH được phân tích tại Viện Công nghệ Hóa học. Phân tích hình thái bề mặt TSH bằng kính hiển vi điện tử quét (Scanning electron microscope - SEM) được thực hiện trên thiết bị SEM, JEOL, JSM-6700F, Nhật bản. Phân tích các nhóm chức của TSH bằng cách đo phổ biến đổi hồng ngoại (Fourrier Transformation Infrared - FTIR) được thực với thiết bị Tensor 27 FT-IR, Bruker, Đức với số sóng trong khoảng 400-4000 cm<sup>-1</sup>. Phương pháp phân tích Brunauer Emmett Teller (BET) được sử dụng để xác định diện tích bề mặt của TSH.

Giá trị pH tại điểm điện tích bằng không (pH<sub>PZC</sub>) của TSH được xác định dựa theo phương pháp<sup>18</sup>. Các bước thực hiện được trình bày như sau: 30 mL dung dịch 0,01 M NaCl đã được điều chỉnh pH<sub>i</sub> từ 3 đến 10 bởi dung dịch 0,1 M NaOH hoặc 0,1 M HCl được cho vào các ống nghiệm polyethylene 50 mL, cân 0,03 g TSH cho vào các ống nghiệm. Chuyển các ống nghiệm này vào máy lắc và lắc trong 24 giờ với tốc độ lắc 150 vòng/phút. Sau đó lọc dung dịch qua giấy lọc Whatman® 0,45-μm và đo pH<sub>s</sub>. Tính toán giá trị ΔpH = pH<sub>s</sub> - pH<sub>i</sub>. Vẽ đồ thị ΔpH theo pH<sub>i</sub>. Giá trị pH tại giao điểm của đường thẳng ΔpH = 0 với đường ΔpH theo pH<sub>i</sub> được xác định là pH<sub>PZC</sub> của TSH.

### Tính toán kết quả

Dung lượng hấp phụ DOX bởi TSH được tính theo công thức:

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

**Bảng 1:** Thực nghiệm các yếu tố ảnh hưởng khả năng hấp phụ DOX bởi TSH

Yếu tố khảo sát	pH	Nồng độ DOX ban đầu (mg/L)	Thời gian (phút)	Khối lượng TSH (g)	Tốc độ (vòng/phút)	lắc
pH	3,0 - 10,0	60	1440	0,03	150	
Nồng độ DOX ban đầu	6,0	20-140	1440	0,03	150	
Thời gian	6,0	120	0-1440	0,03	150	
Khối lượng TSH	6,0	120	1440	0,01 - 0,05	150	

Hiệu suất hấp phụ được tính bởi công thức:

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

Trong đó:  $q_e$  (mg/g) dung lượng hấp phụ DOX trên 1 gam TSH;  $C_0$  (mg/L): nồng độ DOX trước khi hấp phụ;  $C_e$  (mg/L): nồng độ DOX sau khi hấp phụ;  $m$  (g): khối lượng TSH;  $V$  (L): thể tích dung dịch DOX,  $H$  (%): hiệu suất hấp phụ DOX.

## KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### Đặc tính của vật liệu hấp phụ

Hình 1 cho thấy ba loại vật liệu (BP, BP500 và BP-KOH) trước khi hấp phụ có hình thái không đều và xốp bề mặt. Vật liệu thô ban đầu BP có cấu trúc bề mặt mịn, kích thước lỗ rỗng nhỏ. Than sinh học BP500 có cấu trúc bề mặt nhẵn, thô hơn, hình dạng lỗ rỗng to hơn như những san hô. Đối với BP-KOH, lỗ xốp bên trong dần dần xuất hiện to và nhiều hơn, những lỗ rỗng này sẽ giúp vật liệu dễ dàng và thuận lợi trong quá trình hấp phụ chất ô nhiễm. Mouiya et al.<sup>19</sup> cũng nghiên cứu về vật liệu hấp phụ vỏ chuối cho thấy hình ảnh SEM của vỏ chuối ban đầu với các lỗ rỗng không đồng nhất. Kết quả nghiên cứu cho thấy sau khi hấp phụ, có sự thay đổi đáng kể trong cấu trúc của vỏ chuối, vỏ có vẻ bề mặt thô ráp với các lỗ rỗng giống miệng núi lửa.

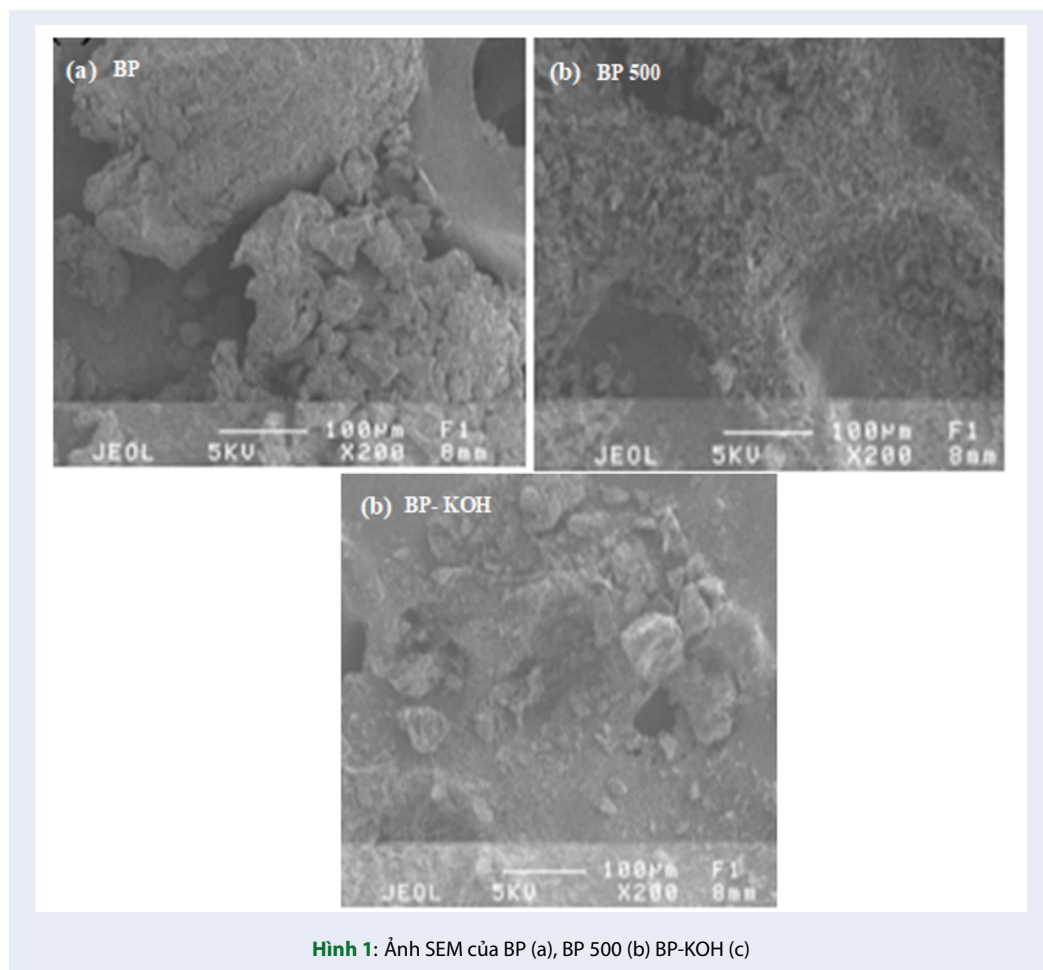
Phổ FTIR của ba loại vật liệu thu được để xác định các nhóm chức có trong vỏ chuối. Quan sát Hình 2c cho thấy mẫu BP, BP500 và BP-KOH có sự dịch chuyển phổ. Mẫu BP xuất hiện các nhóm chức đặc trưng nhóm C – H tại 2922  $\text{cm}^{-1}$  và nhóm C – C tại 1068  $\text{cm}^{-1}$ . Nhóm O – H, C – H, C = C và C – C xuất hiện ở BP500 tương ứng tại 3446  $\text{cm}^{-1}$ , 2923  $\text{cm}^{-1}$ , 1569  $\text{cm}^{-1}$  và 1032  $\text{cm}^{-1}$ . Tuy nhiên quá trình biến tính than bằng KOH đã dịch chuyển phổ tại nhóm chức C – C là 1068  $\text{cm}^{-1}$  trên BP và 1032  $\text{cm}^{-1}$  trên BP500 thành 1048  $\text{cm}^{-1}$  trên BP-KOH. Mặt khác, quá trình hoạt tính đã làm biến mất nhóm chức C = C tại 1569  $\text{cm}^{-1}$ . Kết quả này chỉ ra rằng nhóm chức acid carboxylic đã phát triển trên than BP-KOH. Trên Hình 2c

cũng cho thấy cường độ nhóm C – C trên BP và BP500 thấp hơn trên than BP-KOH. Điều này được giải thích do nhóm cacboxyl đã phản ứng với nhóm  $\text{OH}^-$  khi TSH BP-KOH biến đổi bằng KOH

Hình 2a cho thấy diện tích bề mặt BET của ba loại vật liệu tăng từ 0,164  $\text{m}^2/\text{g}$  (BP) lên 8,251  $\text{m}^2/\text{g}$  (BP500) và 710,214  $\text{m}^2/\text{g}$  (BP-KOH) khi nhiệt độ nhiệt phân tăng lên. Palma et al.<sup>20</sup> đã báo cáo giá trị của diện tích bề mặt của BP có nguồn gốc từ chuối ngự Đại Hoàng (*Musa spp*) là 5  $\text{m}^2/\text{g}$ . Diện tích bề mặt của BP làm từ chuối xiêm (*Musa acuminata x balbisiana colla*) trong nghiên cứu này thấp hơn nhiều so với vật liệu ở nghiên cứu của Palma et al.<sup>20</sup>. Điều này cho thấy giống chuối khác nhau cũng ảnh hưởng đến diện tích bề mặt BET. Mặt khác, Zeng et al.<sup>12</sup> dùng rơm rạ ở các nhiệt độ khác nhau (BC) để xử lý DOX, kết quả cho thấy với diện tích bề mặt BET của BC tăng khi nhiệt độ nhiệt phân tăng, cụ thể từ 3,29  $\text{m}^2/\text{g}$  (BC300) lên 9,95  $\text{m}^2/\text{g}$  (BC500) và 20,55  $\text{m}^2/\text{g}$  (BC700). Hình 2b cho thấy giá trị  $\text{pH}_{\text{pzc}}$  của vật liệu BP-KOH là 7,7. Kết quả này tương đồng với các nghiên cứu trước. Zhang et al.<sup>21</sup> cho thấy  $\text{pH}_{\text{pzc}}$  của than sinh học từ vỏ trấu là 7,5. Bagheri et al.<sup>22</sup> cũng cho thấy  $\text{pH}_{\text{pzc}}$  của than sinh học có nguồn gốc từ vỏ hạt chùm ngây là 7,09.

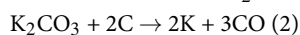
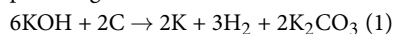
### Ảnh hưởng của vật liệu lên hiệu quả loại bỏ doxycycline

Nhiệt độ nhiệt phân của vật liệu có ảnh hưởng đối với việc loại bỏ kháng sinh DOX. Dung lượng hấp phụ giữa ba loại vật liệu thể hiện xu hướng là TSH nhiệt phân ở nhiệt độ cao có khả năng hấp phụ cao hơn so với TSH nhiệt phân ở nhiệt độ thấp. Dung lượng hấp phụ với BP-KOH lớn hơn đáng kể so với BP500 và BP. Như thể hiện trong Hình 3, dung lượng hấp phụ tăng từ 15,89 mg/g, 44,61 mg/g và 89,11 mg/g tương ứng đối với BP, BP500 và BP-KOH. Diện tích bề mặt của BP-KOH cao hơn rõ rệt so với BP500 và BP (Hình 2a), điều này chỉ ra rằng diện tích bề mặt được tạo ra từ các nhiệt độ nhiệt phân khác nhau đóng một vai trò quan trọng trong sự hấp phụ<sup>12</sup>. Abioye and Ani<sup>23</sup> cho thấy rằng sự hình thành lỗ rỗng ở điều kiện nhiệt độ



Hình 1: Ảnh SEM của BP (a), BP 500 (b) BP-KOH (c)

cao, do hoạt tính KOH có thể được giải thích bằng các phản ứng sau:

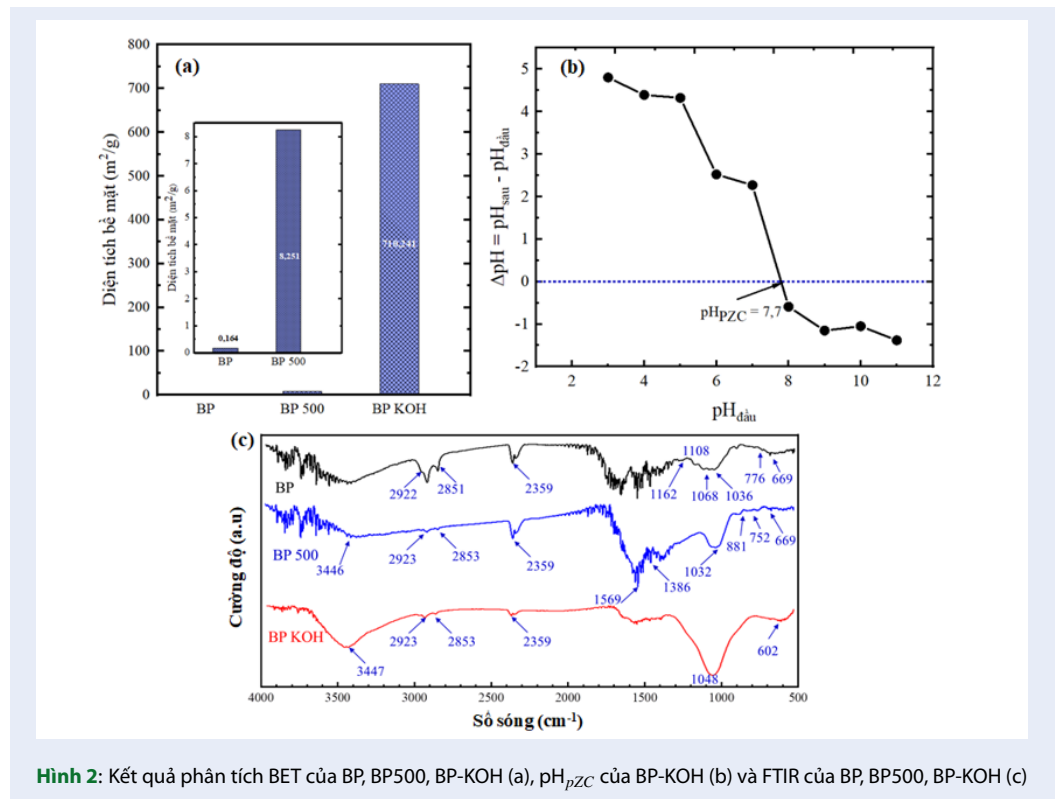


Kết quả là, nhiều lỗ xốp được hình thành khi  $\text{K}_2\text{CO}_3$  bị khử bởi cacbon để tạo thành K,  $\text{K}_2\text{O}$ , CO và  $\text{CO}_2$ . Hơn nữa, kim loại K từ phản ứng (1) và (2) cũng góp phần làm tăng thể tích lỗ rỗng vì sự tương tác của các nguyên tử này trong ma trận cacbon của vật liệu có thể mở rộng khoảng cách giữa các lớp nguyên tử cacbon<sup>24</sup>. TSH với các đặc tính như cấu trúc xốp, thể tích lỗ xốp lớn, diện tích bề mặt cao và giàu nhóm chức<sup>10,11</sup> được sử dụng làm chất hấp phụ để loại bỏ kháng sinh<sup>25</sup>. Ngoài ra, từ kết quả nghiên cứu này cũng cho thấy rằng diện tích bề mặt của BP-KOH ( $710.214 \text{ m}^2/\text{g}$ ) cao hơn rất nhiều so với diện tích bề mặt của BP500 ( $8.251 \text{ m}^2/\text{g}$ ), nhưng dung lượng hấp phụ của BP-KOH chỉ cao gấp đôi so với dung lượng hấp phụ của BP500. Điều này cho thấy rằng ngoài yếu tố diện tích bề mặt khả năng loại bỏ DOX còn phụ

thuộc vào các yếu tố khác. Kết quả diện tích bề mặt BET góp phần giải thích cho cơ hấp phụ lấp đầy lỗ rỗng (pore-filling). Tuy nhiên, kháng sinh được loại bỏ bởi TSH bằng nhiều cơ chế khác nhau bao gồm tạo phức bề mặt (surface complexation), lấp đầy lỗ rỗng (pore-filling), tương tác kỵ nước (hydrophobic interactions), liên kết  $\pi$ - $\pi$  ( $\pi$ - $\pi$  interactions), trao đổi ion (ion exchange), liên kết hydro (H-bonding) và tương tác tĩnh điện (electrostatic interactions)<sup>7</sup>. Do đó, cơ chế loại bỏ DOX bằng TSH cần được thực hiện ở các nghiên cứu tiếp theo.

### Ảnh hưởng của pH lên hiệu quả loại bỏ doxycycline

pH là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ và là một trong những thông số để kiểm soát tính chất của vật liệu hấp phụ. Điện tích bề mặt và thậm chí cả cấu trúc của chất hấp phụ thường bị ảnh hưởng bởi sự thay đổi của pH và đồng thời tính chất hóa học và sự thay đổi của các loài chất hấp phụ cũng diễn ra. Bề mặt của chất hấp phụ có thể chứa các điện tích dương



**Hình 2:** Kết quả phân tích BET của BP, BP500, BP-KOH (a), pH<sub>pzc</sub> của BP-KOH (b) và FTIR của BP, BP500, BP-KOH (c)

hoặc âm tùy thuộc vào giá trị của pH<sub>pzc</sub> và giá trị pH của dung dịch. Tùy thuộc vào pH mà DOX có một số nhóm chức phân cực và ion hóa, bao gồm cacboxyl, rượu, amino, phenol và xeton. Giá trị pKa của DOX là 3,50; 7,05 và 9,13 (Hình 4b). Hai giá trị đầu tiên được quy cho hệ tricarbonyl-methane và hệ phenol diketone. Các giá trị thứ ba được quy cho nhóm amoni<sup>26</sup>. Ở pH < 3,5, các thành phần chính trong dung dịch là DOX<sup>+</sup>. Đối với 3,5 < pH < 7,05 các thành phần chính trong dung dịch là ion lưỡng tính DOX<sup>±</sup>. Đối với 7,05 < pH < 9, các thành phần chính trong dung dịch là anion DOX<sup>-</sup>. Ở pH > 9, các thành phần chính trong dung dịch là các di-anion DOX<sup>2-</sup><sup>26</sup>. BP-KOH có giá trị pH<sub>pzc</sub> là 7,7 như trong Hình 2b. Do đó, bề mặt của BP có điện tích dương ở pH < 7,7 và điện tích âm ở pH > 7,7. Để nghiên cứu ảnh hưởng của pH đến khả năng hấp phụ, các thí nghiệm được thực hiện trong khoảng pH từ 3-10 (Hình 4a). Sự gia tăng hấp thu DOX từ 17,14 đến 59,12 mg/g thu được bằng cách tăng pH từ 3 đến 6 và đạt mức hấp thụ tối đa là 59,12 mg/g ở pH bằng 6.

### Ảnh hưởng của sự thay đổi nồng độ doxycycline

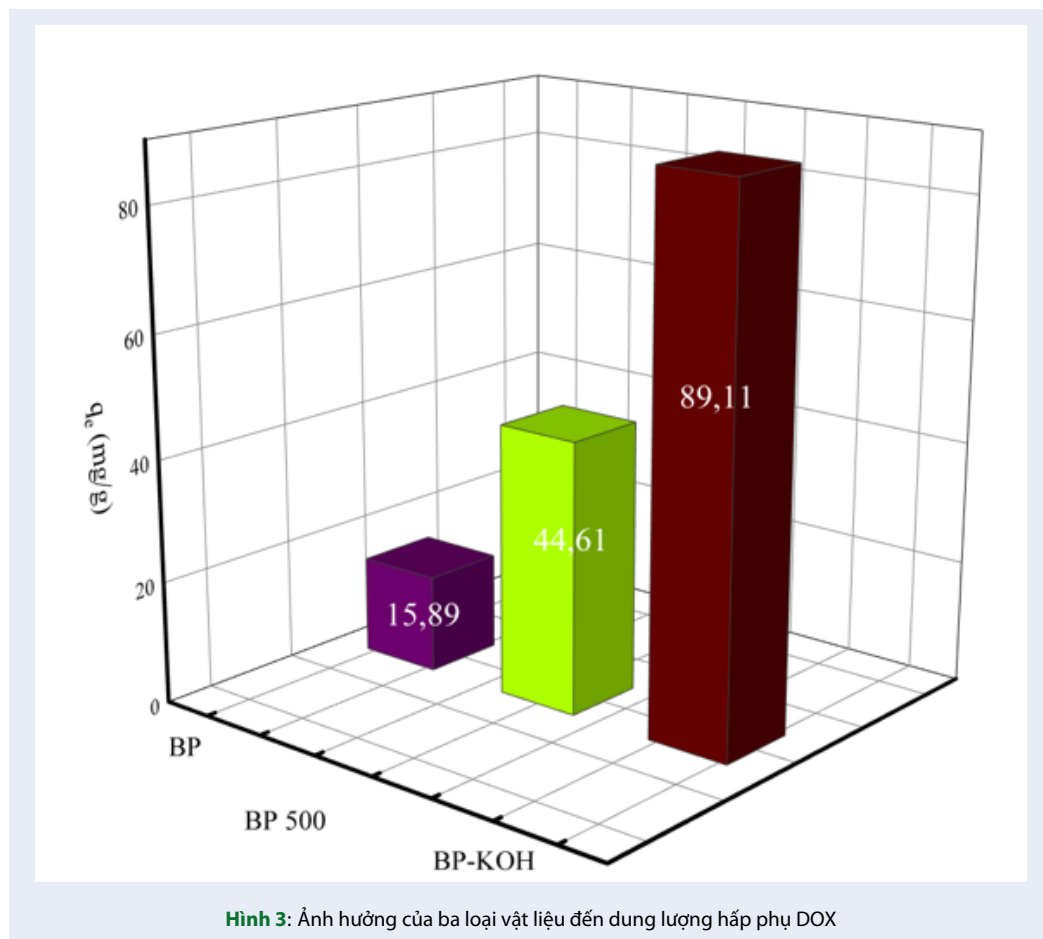
Hình 5 cho thấy ảnh hưởng của nồng độ kháng sinh ban đầu về khả năng hấp phụ, có thể nhận thấy rằng

khả năng hấp phụ của DOX tăng từ 43,4 lên 153,5 mg/g tương ứng với nồng độ ban đầu của DOX tăng trong khoảng 20-140 mg/L. Khả năng hấp phụ của BP-KOH tăng khi nồng độ DOX tăng và đạt đến giá trị lớn nhất về khả năng hấp phụ khi dung dịch chứa 120 mg/L DOX. Hiệu quả loại bỏ DOX là từ 86,6% đến 97,9% đối với các nồng độ được nghiên cứu.

### Ảnh hưởng của sự thay đổi thời gian

Để nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian tiếp xúc đến việc loại bỏ DOX khỏi dung dịch nước, các thí nghiệm được thực hiện ở nồng độ ban đầu là 120 mg/L, thời gian tiếp xúc khác nhau từ 3 đến 1440 phút, liều lượng BP-KOH là 0,03 gam, pH = 6 và lắc ở tốc độ cố định 150 vòng/phút. Dung lượng hấp phụ DOX trên BP-KOH được thể hiện trong Hình 6. Trạng thái cân bằng của BP-KOH đạt được trong 1440 phút (24 giờ) và hiệu quả loại bỏ DOX là 93,16%. Theo như nghiên cứu của Hassan and Ali<sup>27</sup> dùng lá trà đen (SBTL) và vỏ lựu (PP) để xử lý DOX, kết quả đạt được là đối với SBTL trạng thái cân bằng đạt được trong 150 phút và phần trăm loại bỏ là 89%, trong khi thời gian cần thiết để sự hấp phụ trên PP đạt được trạng thái cân bằng là 90 phút và phần trăm loại bỏ là 83%. Thời gian loại bỏ DOX của SBTL và PP chỉ cần 150 phút và 90 phút đã đạt trạng thái cân bằng, trong khi thời gian cần thiết





để đạt trạng thái cân bằng của BP-KOH là 24 giờ. Tuy nhiên phần trăm loại bỏ của BP-KOH đạt 93,16% cao hơn của SBTL và PP.

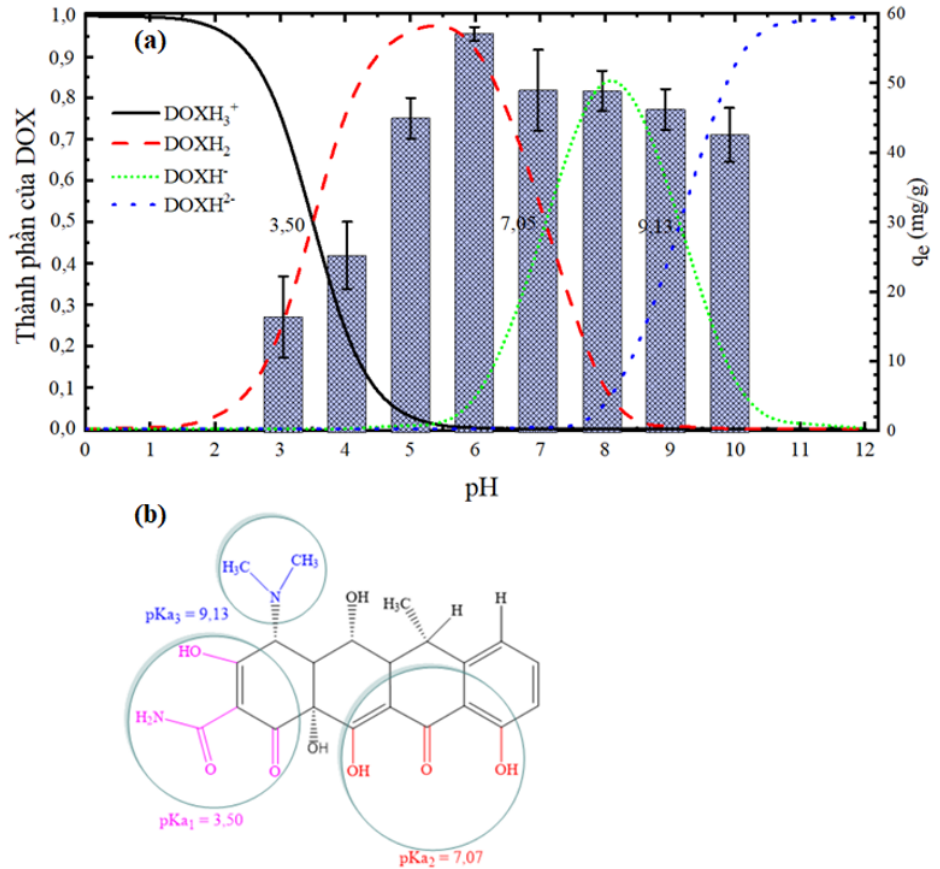
### Ảnh hưởng của sự thay đổi nồng độ TSH

Đối với quá trình hấp phụ, việc tiêu thụ chất hấp phụ thấp hơn là có lợi vì tính kinh tế. Để đánh giá liều lượng vật liệu hấp phụ trong việc loại bỏ DOX phù hợp, liều lượng chất hấp phụ BP-KOH được sắp xếp theo thứ tự 0,3; 0,6; 1; 1,3 và 1,6 g/L tương ứng với khối lượng than dùng trong thí nghiệm là 0,01; 0,02; 0,03; 0,04 và 0,05 gam. Như được chỉ ra trong Hình 7, khi liều lượng BP-KOH tăng từ 0,3 g/L lên 1,6 g/L, dung lượng hấp phụ DOX giảm rõ rệt từ 3,0 xuống 0,62 mg/g. Một lý do có thể là với việc tăng liều lượng BP-KOH, diện tích bề mặt chất hấp phụ, số lượng vị trí hấp phụ và diện tích tiếp xúc cũng tăng lên. Tuy nhiên, do sự xếp chồng lên nhau của các lớp vật liệu hấp phụ dẫn đến hiện tượng che chắn các vị trí hoạt động có sẵn trên bề mặt chất hấp phụ do đó khả năng hấp phụ DOX trên 1 gam than bị giảm dần. Trong nghiên cứu này, xem xét hiệu quả loại bỏ và lợi ích kinh tế, liều

lượng BP-KOH 1 g/L được chọn là liều lượng tối ưu. Tuy loại vật liệu khác nhau mà việc sử dụng liều lượng vật liệu để xử lý DOX cũng khác nhau. Với nghiên cứu dùng cây ngô đồng để chế tạo TSH dạng hạt để xử lý DOX, kết quả cho thấy khi tăng liều lượng TSH tăng từ 1,5 lên 6,0 g/L thì hiệu quả xử lý tăng lên rõ rệt, sau đó tăng nhẹ từ 6,0 lên 7,5 g/L<sup>28</sup>. Với liều lượng 6,0 g/L được cho là tối ưu để xử lý DOX để đem lại hiệu quả cao, trong khi đó với vật liệu được điều chế từ vỏ chuối BP-KOH liều lượng tối ưu để loại bỏ DOX là 1 g/L.

### Đẳng nhiệt hấp phụ

Trong nghiên cứu này, mô hình Langmuir và Freundlich được sử dụng để mô tả tính chất hấp phụ của DOX bởi BP-KOH ở điều kiện tối ưu với nồng độ DOX ban đầu trong khoảng từ 10 đến 120 mg/L, liều lượng BP-KOH là 1 g/L và pH 6. Kỹ thuật tuyến tính được sử dụng để xác định các tham số tương ứng của các mô hình được áp dụng, được tóm tắt trong Bảng 2. Hình 8b cho thấy mối quan hệ tuyến tính giữa  $1/q_e$  và  $1/C_e$  là rất phù hợp ( $R^2 = 0,9879$ ). Dung



**Hình 4:** Ảnh hưởng của pH đến khả năng hấp phụ kháng sinh DOX (a), công thức cấu tạo DOX (b)

lượng hấp phụ tối đa ( $q_{max}$ ) và giá trị  $K_L$  đối với DOX tương ứng là 121,95 mg/g và 0,02. Kết quả chỉ ra rằng DOX được BP-KOH hấp thụ đơn lớp. Ngoài ra, các giá trị của  $R_L$  đều nhỏ hơn 1, cho thấy quá trình hấp phụ diễn ra thuận lợi. Hình 8c cho thấy mối quan hệ tuyến tính giữa  $\log q_e$  và  $\log C_e$  là phù hợp ( $R^2 = 0,8945$ ). Thông số  $1/n$  cho biết khả năng chất ô nhiễm lấp đầy các lỗ rỗng trên bề mặt TSH<sup>29,30</sup>. Từ Bảng 2 ta thấy tham số  $1/n$  và  $K_f$  của mô hình Freundlich lần lượt là 0,55 và 6,81. Giá trị  $1/n$  nhỏ hơn 1 cho thấy chất ô nhiễm dễ dàng bị hấp phụ bởi KOH-BPB<sup>31</sup>. Dung lượng hấp phụ tối đa  $q_{max}$  đạt 121,95 mg/g dựa trên mô hình Langmuir, cho thấy khả năng hấp phụ DOX của BP-KOH vượt trội so với các chất hấp phụ khác từ các nghiên cứu trước (Bảng 3).

## KẾT LUẬN

Vật liệu TSH nguồn gốc từ vỏ chuối (BP-KOH) đã được chế tạo thành công bằng phương pháp nhiệt phân và biến tính bởi KOH. Các kết quả phân tích SEM, BET cho thấy vật liệu TSH chế tạo được có cấu

trúc xốp, diện tích bề mặt  $S_{BET} = 710,214 \text{ m}^2/\text{g}$ . Kết quả xử lý DOX trong nước của BP-KOH đạt 97,9% với nồng độ DOX 120 mg/L, liều lượng BP-KOH là 1g/L trong vòng 24 giờ. Từ kết quả nghiên cứu thấy rằng, TSH được điều chế từ vỏ chuối có tiềm năng lớn trong ứng dụng xử lý DOX nói riêng cũng như các loại kháng sinh khác gây ô nhiễm môi trường nước nói chung.

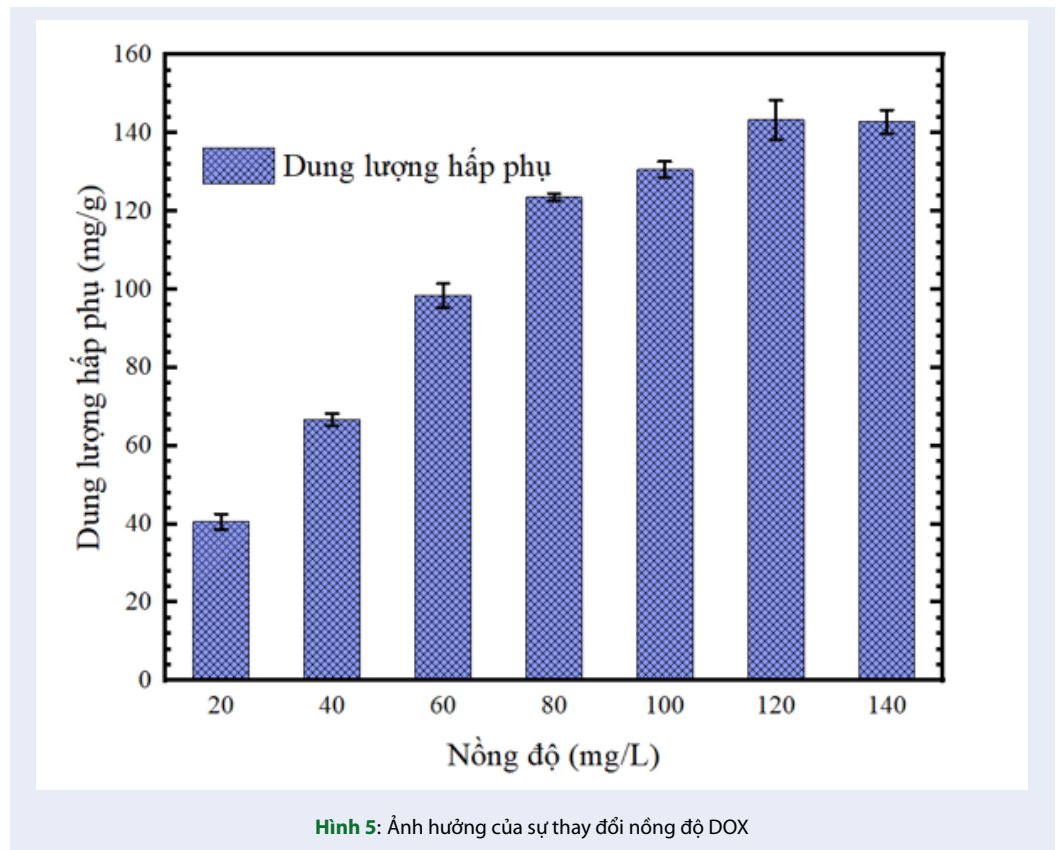
## XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Các tác giả tuyên bố rằng họ không có xung đột lợi ích đối với nghiên cứu này.

## ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Giám sát, hình thành, thiết kế phương pháp luận, tài trợ kinh phí, viết - đánh giá và chỉnh sửa bản thảo cuối cùng: Võ Thị Diệu Hiền

Phương pháp, quản lý dữ liệu, phân tích/đánh giá dữ liệu, điều chỉnh mô hình và viết bản thảo gốc: Nguyễn Văn Trực



**Bảng 2:** Thông số mô hình Langmuir, Freundlich

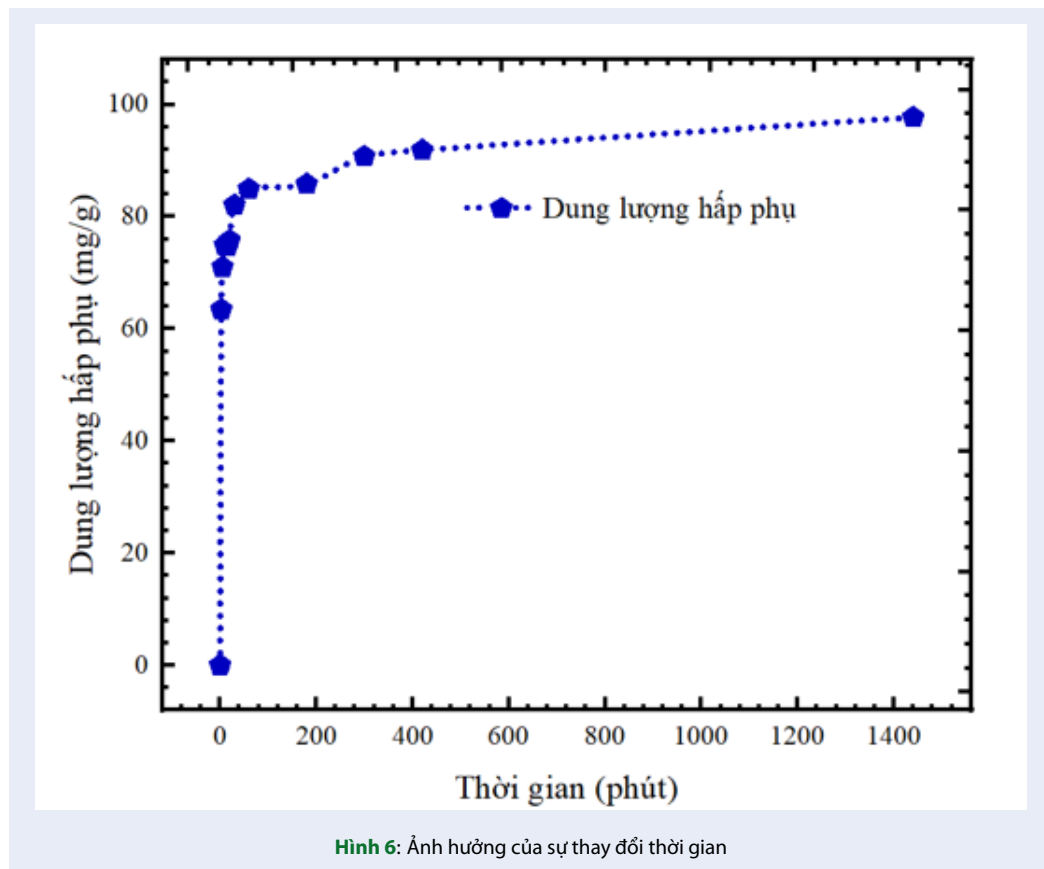
Mô hình	Thông số		
Langmuir	$K_L$	$q_{max}$ (mg/g)	$R^2$
	0,02	121,95	0,9879
Freundlich	$K_F$	1/n	$R^2$
	6,81	0,55	0,8945

Lấy mẫu, tiến hành thí nghiệm trong phòng, phân tích mẫu: Nguyễn Thị Hoa

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Le HV, Nguyen LS, Huynh LKL, Nguyen VCN. Nghiên cứu xử lý nước thải y tế bằng phản ứng Fenton/ozone kết hợp lọc sinh học hiếu khí. Tạp Chí Khoa Học Đại Học Cần Thơ. 2019;55(1):14-22; Available from: <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2019.002>.
- Akkaya Saygılı G, Saygılı H, Koyuncu F, Güzel F. Development and physicochemical characterization of a new magnetic nanocomposite as an economic antibiotic remover. Process Saf Environ Prot. 2015;94:441-51; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2014.10.005>.
- Anthony A, A, Adekunle C, F, Thor A, S. Residual antibiotics, antibiotic resistant superbugs and antibiotic resistance genes in surface water catchments: public health impact. Phys Chem Earth. 2018;105:177-83; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.03.004>.
- Harikumar G, Krishanan K. The growing menace of drug resistant pathogens and recent strategies to overcome drug resistance: a review. J King Saud Univ Sci. 2022;34(4):101979; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101979>.
- Zhu T-t, Su Z-x, Lai W-x, Zhang Y-b, Liu Y-w. Insights into the fate and removal of antibiotics and antibiotic resistance genes using biological wastewater treatment technology. Sci Total Environ. 2021;776:145906; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145906>.
- Wang J, Zhuan R. Degradation of antibiotics by advanced oxidation processes: an overview. Sci Total Environ. 2020;701:135023; PMID: 31715480. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135023>.
- Du L, Ahmad S, Liu L, Wang L, Tang J. A review of antibiotics and antibiotic resistance genes (ARGs) adsorption by biochar and modified biochar in water. Sci Total Environ. 2023;858(2):159815; PMID: 36328262. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159815>.
- Wu P, Wang Z, Wang H, Bolan NS, Wang Y, Chen W. Visualizing the emerging trends of biochar research and applications in 2019: a scientometric analysis and review. Biochar. 2020;2(2):135-50; Available from: <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00055-1>.
- Nguyen VT, Nguyen TB, Chen CW, Hung CM, Huang CP, Dong CD. Cobalt-impregnated biochar (Co-SCG) for heterogeneous

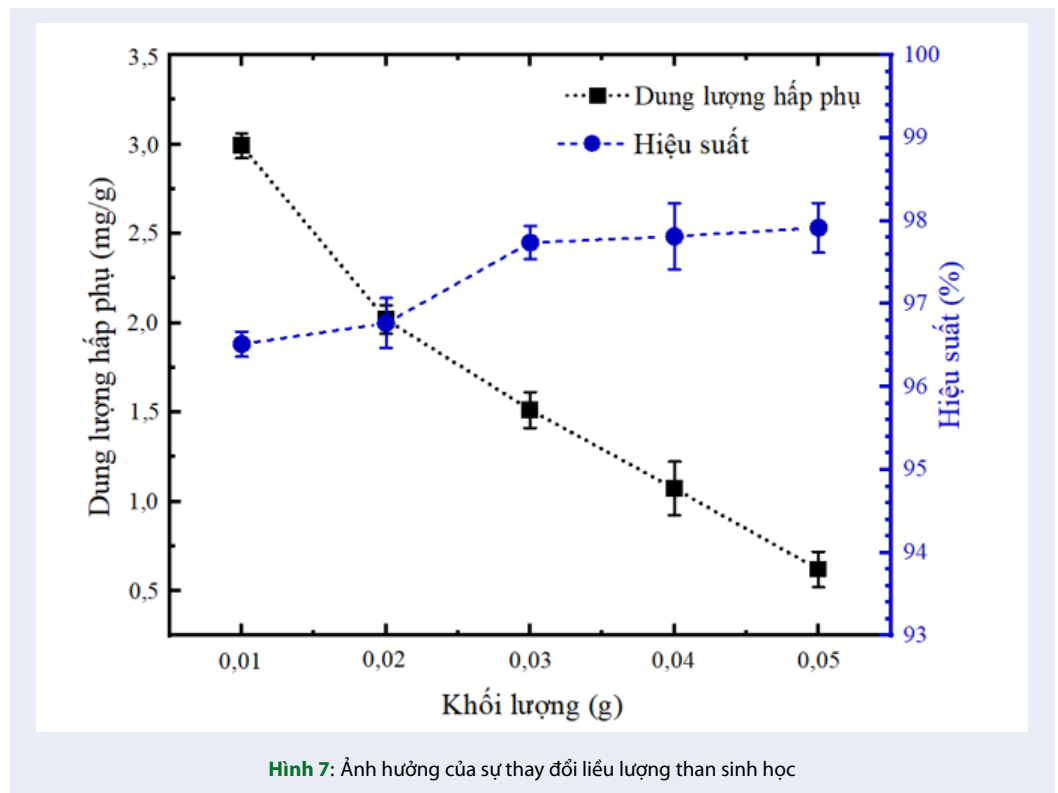




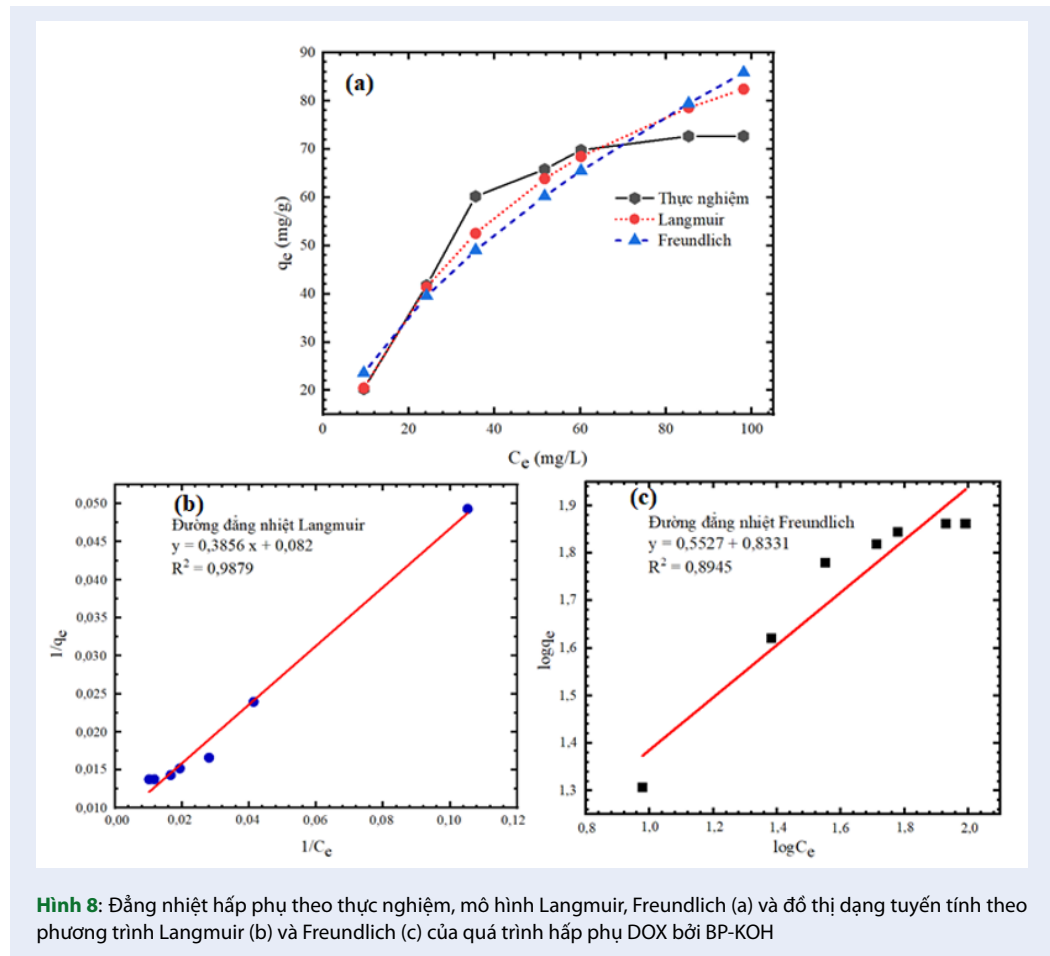
Hình 6: Ảnh hưởng của sự thay đổi thời gian

Bảng 3: Dung lượng hấp phụ tối đa DOX ( $q_{max}$ ) từ các nghiên cứu trước.

Vật liệu hấp phụ	pH	Nồng độ DOX (mg/L)	Liều lượng vật liệu hấp phụ (g/L)	$q_{max}$ (mg/g)	Tài liệu tham khảo
BP-KOH	6,0	10 - 50	1,0	121,95	Nghiên cứu này
Than sinh học từ vỏ hạt bí đỏ (PSSAC)	8,0	10-100	2,5	18,46	Kaur et al. <sup>32</sup>
Than hoạt tính	7,0	5 - 30	6,0	32,39	Fan et al. <sup>28</sup>
Than sinh học từ lá trà	6,0	10 - 100	0,1	36,81	Hassan and Ali <sup>27</sup>
Than sinh học biến tính bởi đồng nitrat	8,0	10 - 100	2,0	52,37	Liu et al. <sup>33</sup>
Than sinh học từ vỏ trấu (RHA)	6,0	40-300	5,0	73,63	Kaur et al. <sup>34</sup>
Than sinh học từ bùn thải biến tính bởi ion sắt	6,0	10 - 60	0,6	128,98	Wei et al. <sup>35</sup>
Than sinh học từ vỏ trấu	6,0	5 - 60	0,4	170,36	Zeng et al. <sup>12</sup>



- activation of peroxymonosulfate for removal of tetracycline in water. *Bioresour Technol.* 2019;292:121954;PMID: 31404756. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121954>.
- Ahmad M, Rajapaksha AU, Lim JE, Zhang M, Bolan N, Mohan D et al. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. *Chemosphere.* 2014;99:19-33;PMID: 24289982. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.071>.
  - Tan X, Liu Y, Zeng G, Wang X, Hu X, Gu Y et al. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. *Chemosphere.* 2015;125:70-85;PMID: 25618190. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.058>.
  - Zeng ZW, Tan XF, Liu YG, Tian SR, Zeng GM, Jiang LH et al. Comprehensive adsorption studies of doxycycline and ciprofloxacin antibiotics by biochars prepared at different temperatures. *Front Chem.* 2018;6:80;PMID: 29637067. Available from: <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00080>.
  - Cheng D, Ngo HH, Guo W, Chang SW, Nguyen DD, Zhang X et al. Feasibility study on a new pomelo peel derived biochar for tetracycline antibiotics removal in swine wastewater. *Sci Total Environ.* 2020;720:137662;PMID: 32325595. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137662>.
  - Zhou H, Wang Z, Gao C, Sun Q, Liu J, She D. Synthesis of honeycomb lignin-based biochar and its high-efficiency adsorption of norfloxacin. *Bioresour Technol.* 2023;369:128402;PMID: 36503835. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128402>.
  - Nguyen VT, Nguyen TB, Chen CW, Hung CM, Huang CP, Dong CD. Cobalt-impregnated biochar (Co-SCG) for heterogeneous activation of peroxymonosulfate for removal of tetracycline in water. *Bioresour Technol.* 2019;292:121954;PMID: 31404756. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121954>.
  - Nguyen VT, Nguyen TB, Chen CW, Hung CM, Vo TD, Chang JH et al. Influence of pyrolysis temperature on polycyclic aromatic hydrocarbons production and tetracycline adsorption behavior of biochar derived from spent coffee ground. *Bioresour Technol.* 2019;284:197-203;PMID: 30939381. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.03.096>.
  - Xue C, Zhu L, Lei S, Liu M, Hong C, Che L et al. Lead competition alters the zinc adsorption mechanism on animal-derived biochar. *Sci Total Environ.* 2020;713:136395;PMID: 31954249. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136395>.
  - Nguyen VT, Nguyen TB, Huang CP, Chen CW, Bui XT, Dong CD. Alkaline modified biochar derived from spent coffee ground for removal of tetracycline from aqueous solutions. *J Water Process Eng.* 2021;40:101908; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101908>.
  - Mouiya M, Bouazizi A, Abourriche A, Benhammou A, El Hafiane Y, Ouammou M et al. Fabrication and characterization of a ceramic membrane from clay and banana peel powder: application to industrial wastewater treatment. *Mater Chem Phys.* 2019;227:291-301; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.02.011>.
  - Palma C, Contreras E, Urrea J, Martínez MJ. Eco-friendly technologies based on banana peel use for the decolorization of the dyeing process wastewater. *Waste Biomass Valorization.* 2011;2(1):77-86; Available from: <https://doi.org/10.1007/s12649-010-9052-4>.
  - Zhang B, Han X, Gu P, Fang S, Bai J. Response surface methodology approach for optimization of ciprofloxacin adsorption using activated carbon derived from the residue of desiccated rice husk. *J Mol Liq.* 2017;238:316-25; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.04.022>.
  - Bagheri A, Abu-Danso E, Iqbal J, Bhatnagar A. Modified biochar from Moringa seed powder for the removal of diclofenac from aqueous solution. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2020;27(7):7318-27;PMID: 31884537. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06844-x>.
  - Abioye AM, Ani FN. Recent development in the production of activated carbon electrodes from agricultural waste



biomass for supercapacitors: a review. *Renew Sustain Energy Rev.* 2015;52:1282-93; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.129>.

24. Farma R, Deraman M, Awitrus A, Talib IA, Taer E, Basri NH et al. Preparation of highly porous binderless activated carbon electrodes from fibres of oil palm empty fruit bunches for application in supercapacitors. *Bioresour Technol.* 2013;132:254-61; PMID: 23411456. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.01.044>.
25. Xiang Y, Xu Z, Wei Y, Zhou Y, Yang X, Yang Y et al. Carbon-based materials as adsorbent for antibiotics removal: mechanisms and influencing factors. *J Environ Manage.* 2019;237:128-38; PMID: 30784860. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.068>.
26. Zaidi S, Sivasankar V, Chaabane T, Alonzo V, Omine K, Maachi R et al. Separate and simultaneous removal of doxycycline and oxytetracycline antibiotics by electro-generated adsorbents (EGAs). *J Environ Chem Eng.* 2019;7(1):102876; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.102876>.
27. Hassan S, Ali F. Equilibrium, thermodynamics and kinetics study of doxycycline adsorption from aqueous solution using spent black tea leaves and pomegranate peel wastes. *Int J Dev Res.* 2014;4(1):129-35;.
28. Fan Y, Zheng C, Hou H. Preparation of granular activated carbon and its mechanism in the removal of isoniazid, sulfamethoxazole, thiamphenicol, and doxycycline from aqueous solution. *Environ Eng Sci.* 2019;36(9):1027-40; Available from: <https://doi.org/10.1089/ees.2018.0472>.
29. Truong TT, Le TH, Pham TD. Adsorption characteristics of copper (II) ion on Cu-doped ZnO nanomaterials based on green synthesis from Piper Chaudocanm L. leaves extract. *Colloid Polym Sci.* 2022;300(12):1343-54; Available from: <https://doi.org/10.1007/s00396-022-05028-3>.
30. Yan J, Zuo X, Yang S, Chen R, Cai T, Ding D. Evaluation of potassium ferrate activated biochar for the simultaneous adsorption of copper and sulfadiazine: competitive versus synergistic. *J Hazard Mater.* 2022;424(B):127435; PMID: 34638070. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127435>.
31. Xie M, Chen W, Xu Z, Zheng S, Zhu D. Adsorption of sulfonamides to demineralized pine wood biochars prepared under different thermochemical conditions. *Environ Pollut.* 2014;186:187-94; PMID: 24384578. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.11.022>.
32. Kaur G, Singh N, Rajor A. Adsorption of doxycycline hydrochloride onto powdered activated carbon synthesized from pumpkin seed shell by microwave-assisted pyrolysis. *Environ Technol Innov.* 2021;23:101601; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101601>.
33. Liu S, Xu WH, Liu YG, Tan XF, Zeng GM, Li X et al. Facile synthesis of Cu(II) impregnated biochar with enhanced adsorption activity for the removal of doxycycline hydrochloride from water. *Sci Total Environ.* 2017;592:546-53; PMID: 28318694. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.087>.
34. Kaur G, Singh N, Rajor A, Arya RK. Removal of doxycycline hydrochloride from aqueous solution by rice husk ash using response surface methodology and disposability study. *Environ Sci Pollut Res.* 2022;1-15; PMID: 35157206. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18961-1>.

35. Wei J, Liu Y, Li J, Zhu Y, Yu H, Peng Y. Adsorption and co-adsorption of tetracycline and doxycycline by one-step synthesized iron loaded sludge biochar. Chemosphere.

2019;236:124254;PMID: 31306978. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.224>.

 Open Access Full Text Article

# Removal of doxycycline antibiotics in water with adsorbents derived from banana peels

Vo Thi Dieu Hien<sup>1,\*</sup>, Nguyen Van Truc<sup>2</sup>, Nguyen Thi Hoa<sup>2</sup>

## ABSTRACT

This study evaluated the antibiotic removal efficiency of doxycycline (DOX) of biochar prepared from banana peels with different temperatures. Factors affecting antibiotic adsorption (including pH, initial DOX concentration, contact time, biochar dose) were studied. The results show that biochar generated at high temperature (800 °C) and modified by KOH (BP-KOH), has higher antibiotic adsorption capacity than those at low temperature (no pyrolysis and 500 °C pyrolysis, BP and BP500 respectively). The properties of the materials were determined by the scanning electron microscope (SEM), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), zeta potential, and Brunauer–Emmett–Teller (BET) analysis methods. The SEM image shows that the fabricated material contains many pores. FTIR spectra show that the fabricated material contains surface functional groups such as O - H, C - H, C - C, etc. The BET results show that high surface area of BP-KOH (710.214 m<sup>2</sup>/g). The DOX adsorption capacity (120 mg/L) of BP-KOH obtained a high treatment efficiency of 97.9% with an adsorption time of 1440 minutes (24 h) with an optimal pH of 6. Research results showed found that adsorbent made from banana peel has great potential in the application of antibiotic treatment in water.

**Key words:** Doxycycline, Isotherm adsorption, Biochar, Banana peel

<sup>1</sup>Faculty of Environmental and Food Engineering, Nguyen Tat Thanh University, Ho Chi Minh City, Vietnam

<sup>2</sup>Faculty of Environment, Saigon University, Ho Chi Minh City, Vietnam

## Correspondence

**Vo Thi Dieu Hien**, Faculty of Environmental and Food Engineering, Nguyen Tat Thanh University, Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: vtdhien@ntt.edu.vn

## History

- Received: 20-5-2023
- Accepted: 24-9-2023
- Published Online: 31-12-2023

## DOI :

<https://doi.org/10.32508/stdjsee.v7i2.736>



## Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



**Cite this article :** Hien V T D, Truc N V, Hoa N T. **Removal of doxycycline antibiotics in water with ad-sorbents derived from banana peels.** *Sci. Tech. Dev. J. - Sci. Earth Environ.* 2023; 7(2):728-740.