

Chương 1. TỔNG QUAN VỀ NGHIÊN CỨU

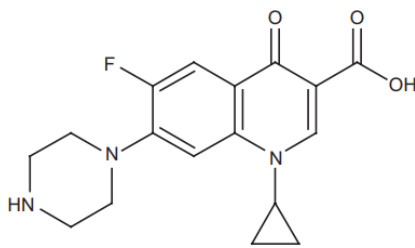
1.1. TỔNG QUAN VỀ KHÁNG SINH CIPROFLOXACIN

1.1.1. Giới thiệu về kháng sinh Ciprofloxacin

Ciprofloxacin (CIP) là một trong những Fluoroquinolones được ưa chuộng hàng đầu và cũng là kháng sinh hóa trị liệu được dùng phổ biến nhất trên toàn cầu. CIP lần đầu được tung ra thị trường vào năm 1987 và cung cấp hoạt tính kháng khuẩn phổ rộng. CIP hoạt động theo cơ chế ngăn chặn sự sao chép tế bào của vi khuẩn, sau cùng gây bất lợi đến sự sinh sôi nảy nở của chúng (Igwegbe, Oba, Aniagor, Adeniyi, & Ighalo, 2021).

Ciprofloxacin có dạng bột trắng, có vị đắng. CIP nên được bảo quản ở 4°C trong bóng tối để giảm thiểu sự xuống cấp do quang phân. Ciprofloxacin hòa tan tự do trong axit axetic và ít tan trong nước, metanol, etanol hoặc axeton. Hệ số phân chia octanol/nước của ciprofloxacin được báo cáo là thấp hơn 163. Độ hòa tan pH cho thấy hằng số phân ly và đẳng điện của ciprofloxacin bao gồm $pK_{a1} = 6.09$, $pK_{a2} = 8.62$ và $pI = 7.14$ (điểm đẳng điện, thu được bằng cách tính toán trung bình của pK_{a1} và pK_{a2}). Điều này cho ta thấy Ciprofloxacin có hai nhóm chức có thể ion hóa, nhóm 6-carboxylic và N-4 của nhóm thế piperazine. Vì axit cacboxylic thường là một axit mạnh hơn nhóm amoni, nên hằng số ion hóa thứ nhất pK_{a1} (6.09) tương ứng với sự phân ly của một proton từ nhóm cacboxyl, trong khi pK_{a2} (8.62) tương ứng với sự phân ly của một proton từ N-4 trong nhóm piperazinyl. Ở độ pH phù hợp nhất, giá trị pK_{a2} là 8.25 và xảy ra sự phân ly đáng kể của cả axit 6-cacboxylic và nhóm 10-(1-piperazino) cơ bản (Sharma et al., 2010).

Bảng 1.1. Thuộc tính của kháng sinh CIP

Ciprofloxacin	CIP	Tài liệu tham khảo
Cấu trúc		(Sharma et al., 2010)
Công thức	$C_{17}H_{18}FN_3O_3$	(Scaffaro, Botta, Maio, & Gallo, 2017)

Khối lượng	331.346	
Độ tan	80 mg/L ở 30 °C và 120 mg/L ở 40 °C trong nước	(Scaffaro et al., 2017)
Điểm nóng chảy	313 – 315 °C	(Sharma et al., 2010)

1.1.2. Tác dụng của kháng sinh Ciprofloxacin

Ciprofloxacin cho thấy hiệu quả tốt trong điều trị vô số bệnh nhiễm trùng kể cả những bệnh khó điều trị như nhiễm trùng đường tiết niệu, viêm bàng quang cấp tính, viêm tuyến tiền liệt mãn tính, nhiễm trùng đường hô hấp, viêm xoang cấp tính, nhiễm trùng da, tiêu chảy truyền nhiễm (Sharma et al., 2010).

Ciprofloxacin ức chế hoạt động của DNA gyrase, một enzyme topoisomerase II thủy phân adenosine triphosphate thiết yếu, hoặc nó ngăn cản sự tách gyrase khỏi DNA. Các topoisomerase thực hiện hoạt động diệt khuẩn của chúng bằng cách tương tác với DNA. Trong quá trình sao chép và phiên mã, một loại enzyme có tên là helicase sẽ làm bung chuỗi xoắn kép DNA. Quá trình tháo xoắn tạo ra sức căng do quá trình siêu xoắn quá mức của chuỗi xoắn kép DNA còn lại. Sự căng thẳng này cần được giảm bớt nếu quá trình này tiếp tục. Enzyme topoisomerase II cho phép giãn DNA siêu xoắn bằng cách phá vỡ cả hai sợi của chuỗi DNA, cắt ngang chúng và cuối cùng hàn gắn chúng lại với nhau (Sharma et al., 2010).

Tác dụng phụ của CIP không quá nghiêm trọng ngoài một vài trường hợp ngoại lệ, các triệu chứng thường giới hạn ở mức rối loạn tiêu hóa như buồn nôn hay tiêu chảy. Điều đáng quan tâm khi sử dụng CIP ở trẻ em là khả năng gây tổn thương xương và khớp. Tác dụng phụ phổ biến thứ hai khi điều trị bằng CIP là gây ảnh hưởng đến hệ thần kinh trung ương với các triệu chứng bao gồm chóng mặt, mất ngủ và thay đổi tâm trạng, động kinh hoặc ảo giác (Sharma et al., 2010).

1.1.3. Ảnh hưởng của kháng sinh Ciprofloxacin đối với môi trường

Sự xuất hiện rộng rãi của CIP trong môi trường nước không chỉ gây lo ngại về tác động diệt khuẩn đối với quần thể vi sinh vật tự nhiên của hệ sinh thái mà còn gây ra tình trạng kháng kháng sinh ở cả vi khuẩn môi trường và vi khuẩn gây bệnh. Đáng báo động hơn, các gen kháng thuốc có thể dịch chuyển từ môi trường sống này sang môi trường sống khác và xâm nhập vào chuỗi thức ăn của con người chúng ta. (Patrolecco et al., 2018)

CIP đã được tìm thấy trên bề mặt của nước ở các mức từ 2.45×10^4 mg/L và 6.3×10^4 mg/L và từ 7.0×10^4 đến 0,1245 mg/L trong nước thải bệnh viện. Nồng độ của CIP trong nước được báo cáo nằm trong khoảng 0.0018 nmol/L cho đến giá trị cao như 19617 nmol/L trong toàn cầu (Igwegbe et al., 2021). Ngày càng nhiều các minh chứng của việc thải bỏ một lượng đáng kể dược phẩm vào môi trường nước sau khi sử dụng và đi qua cơ thể. Bên cạnh các nguồn không đáng kể như nước thải sinh hoạt, nước thải bệnh viện được cho là một nguồn chứa lượng lớn dược phẩm. Nhiều loại thuốc được dùng trong bệnh viện (ví dụ: thuốc kháng sinh, thuốc kìm tế bào) với đặc tính gây tổn thương DNA đối với vi khuẩn hoặc tế bào nhân thực, gây lo ngại về mối nguy hại đối với con người như đột biến gen, ô nhiễm hệ sinh thái của nước thải bệnh viện (Hartmann et al., 1999).

1.2. TỔNG QUAN VỀ BÙN GIẤY

1.2.1. Bùn giấy



Hình 1.1. Bùn giấy

Ngành công nghiệp giấy, nói chung và đặc biệt là ngành bột giấy được coi là ngành tiêu thụ lớn các nguồn tài nguyên hữu hạn trong tự nhiên như gỗ, nước, với ước tính từ 300 đến 2600 m³ nước trên 1 tấn giấy in và giấy viết. Do đó, quá trình tái tạo nguồn nước đã được thực hiện dẫn đến tập trung các dòng chất thải. Bùn giấy là nguồn chất thải chính trong quy trình sản xuất giấy, hơn 50kg bùn sơ cấp được tạo ra trên mỗi tấn giấy được sản xuất, từ 20% trong nhà máy in báo đến 40% trong xưởng sản xuất giấy lụa và các

chất thải khác từ quá trình tái chế. Bùn giấy sơ cấp rất giàu hàm lượng hữu cơ, cùng với sự hiện diện đáng kể các chất vô cơ như đất sét, tro, chất độn,... Mặt khác, bùn thứ cấp, có nguồn gốc từ xử lý nước, chủ yếu bao gồm các chất hữu cơ có hàm lượng vi sinh vật cao khiến cho việc xử lý trở nên khó khăn hơn do (Gottumukkala et al., 2016).

Trong công nghiệp, bùn được khử nước bằng cơ học cho đến khi hàm lượng chất rắn lên tới 30%. Thành phần của bùn giấy rất khác nhau với hàm lượng carbohydrate thay đổi trong khoảng từ 20% đến 70%, phần còn lại gồm lignin, đất sét, chất độn và tro. Bùn giấy từ các nhà máy khác nhau với cách nghiền bột giấy khác nhau sẽ có sự biến đổi lớn trong thành phần hóa học (Gottumukkala et al., 2016).

1.2.2. Công dụng của bùn giấy

- Giảm tiêu thụ vôi trong xây dựng bằng cách dùng bùn thải từ quy trình sản xuất giấy để làm vật liệu thay thế (de Azevedo, Alexandre, Xavier, & Pedroti, 2018).
- Làm vật liệu hấp phụ (Chowdhury, Sikder, Mandal, & Halder, 2019).
- Ứng dụng làm phân bón đất nhằm tối ưu hóa lượng chất hữu cơ có trong đất (Guerrini et al., 2000).

1.3. TỔNG QUAN VỀ VỎ BƠ

1.3.1. Vỏ bơ



Hình 1.2. Vỏ bơ

Bơ là một loại quả mọng, gồm một hạt to ở giữa, và vỏ quả (exocarp), phần ăn được (mesocarp) và lớp vỏ bọc của hạt (endocarp) với các trọng lượng khác nhau từ 120 g đến 2.5 kg, bề mặt nhám hay nhẵn, vỏ dày hay mỏng, hình bầu dục đến tròn. Bơ có đặc điểm chín riêng là không chín trên cây; nhưng quá trình chín bắt đầu sau khi thu hoạch cần 5 đến 7 ngày ở nhiệt độ phòng (Araújo et al., 2018).

Sản lượng của bơ trên thế giới đã tăng liên tục từ năm 1995 (2217521 triệu tấn) đến năm 2018 (6407171 triệu tấn) và được sản xuất bởi hơn 100 quốc gia. Mexico là nước xuất khẩu bơ hàng đầu chiếm khoảng 34% tổng sản lượng bơ trên toàn cầu (Sadiye & Health, 2021).

Ngày nay, việc sử dụng bơ như một nguyên liệu cho thực phẩm như kem hay các sản phẩm thương mại như bột bơ, dầu bơ và các sản phẩm mỹ phẩm đang rất được quan tâm. (Sadiye & Health, 2021) Mức tiêu thụ ngày càng tăng trưởng này tương quan với giá trị dinh dưỡng của bơ. Trên thực tế, bơ rất giàu protein, chất béo, caroten, vitamin (B, C và E), chất xơ và polyphenol (Colombo, Papetti, & Technology, 2019).

Với nhu cầu tiêu dùng cao như vậy, một lượng lớn bơ đã được sản xuất ra hàng năm và trong quá trình sử dụng bơ sản sinh ra một lượng đáng kể phụ phẩm (vỏ và hạt) chiếm gần 30% trọng lượng tươi của quả (Araújo et al., 2018). Vỏ bơ chứa 62-73.3% carbohydrate, 4-8.3% protein, 4.4-9.1% lipid và chất xơ (gần 50%) và một lượng đáng kể các hợp chất có chứa hoạt tính sinh học. Vỏ được báo cáo là có chứa hàm lượng phenolic cao với đặc tính chống oxy hóa. Ngoài ra, vỏ đã được khẳng định là có đặc tính kháng khuẩn, kháng sinh và chống viêm hiệu quả. Vì thế, bơ nói chung và đặc biệt là vỏ bơ được coi là nguyên liệu hứa hẹn để sản xuất thực phẩm và dược phẩm, đồng thời còn có thể được sử dụng nó như một nguồn sinh học để điều chế vật liệu hấp phụ thân thiện với môi trường (Sadiye & Health, 2021).

1.3.2. Công dụng của vỏ bơ

- Ứng dụng trong việc sản xuất vật liệu hấp phụ hiệu quả kim loại nặng, thuốc nhuộm trong môi trường nước (Mallampati, Xuanjun, Adin, Valiyaveettil, & Engineering, 2015).
- Ứng dụng trong việc sản xuất vật liệu hấp phụ kháng sinh (Dao et al., 2020).
- Ứng dụng trong việc sản xuất vật liệu chứa cacbon để loại trừ phẩm nhuộm, có khả năng thay thế than hoạt tính thông thường (Palma, Lloret, Puen, Tobar, & Contreras, 2016).

1.4. CÁC NGHIÊN CỨU LIÊN QUAN ĐẾN LĨNH VỰC HẤP PHỤ

1.4.1. Phương pháp hấp phụ

Hấp phụ là một quá trình phân tách trong đó một số thành phần của pha lỏng bị thu hút bởi các phân tử nằm trên bề mặt của chất hấp phụ rắn và hình thành các liên kết thông qua các liên kết vật lý hoặc hóa học, nhờ vậy loại bỏ thành phần đó khỏi pha lỏng. Chính xác hơn, quá trình này thường xảy ra trên mặt phân cách của hai pha: lớp bề mặt chất hấp phụ và vùng hấp phụ. Tùy thuộc vào bản chất của các lực liên kết mà hấp phụ được phân loại thành hai loại là vật lý hoặc hóa học. Quá trình hấp phụ pha lỏng có thể bị nhiều yếu tố hóa lý khác nhau ảnh hưởng, bao gồm các đặc tính của vật liệu hấp phụ (kích thước phân tử, điểm sôi, độ phân cực và khối lượng phân tử), đặc tính của bề mặt chất hấp phụ (độ phân cực, kích thước lỗ rỗng), ảnh hưởng của các ion khác, kích thước hạt, môi trường pH, thời gian và nhiệt độ hấp phụ (Foo, Hameed, & Treatment, 2010).

1.4.2. Các nghiên cứu trong và ngoài nước

1.4.2.1. Nghiên cứu ngoài nước

Nghiên cứu của Anirudh Gupta và cộng sự ghi nhận hiệu suất của than hoạt tính dạng hạt từ bùn hoạt tính trong việc loại bỏ Ciprofloxacin trong nước thải tổng hợp và nước thải mô phỏng. Chất hấp phụ được điều chế bằng phương pháp hoạt hóa với $ZnCl_2$. Khả năng hấp phụ bão hòa tối đa đối với CIP tương ứng là ~ 16 mg/g và ~ 14 mg/g với cột than hoạt tính từ bùn trong cùng điều kiện vận hành (nồng độ CIP = 50mg/L, chiều cao lớp đệm = 4 cm và tốc độ dòng nước thải = 1.5 mL /min) đối với nước thải tổng hợp và nước thải mô phỏng (Gupta & Garg, 2019).

Tiếp đến là nghiên cứu của Sun và cộng sự về chất thải sinh khối như cỏ bông lau và vỏ bưởi được dùng để điều chế than hoạt tính (ALAC và PPAC). Cấu trúc lỗ rỗng và các nhóm chức trên bề mặt của cả hai nguyên tử cacbon được đặc trưng bởi mô hình hấp phụ/giải hấp N_2 cùng với phổ FT-IR. PPAC có tổng diện tích bề mặt riêng lớn hơn (1252 m^2/g) và nhiều lỗ xốp trung bình hơn, trong khi ALAC thuộc loại có nhiều vi lỗ xốp. Khả năng hấp phụ đơn lớp tối đa là 244 mg/g đối với ALAC và 400 mg/L đối với PPAC (Sun et al., 2016).

Nghiên cứu của Fregue và cộng sự (Fregue, Ionel, Gabche, & Mihaiuti, 2019) về than hoạt tính từ hạt bơ được điều chế bằng phương pháp kiềm hóa với kali hydroxit theo tỉ

lệ 1:10 (wt/wt). Kết quả khảo sát tối ưu của than hoạt tính từ hạt bơ thu được tại nhiệt độ nung 450 °C, nồng độ chất hoạt hóa 0.3 mol/L và thời gian nung 3 giờ, cho ra than hoạt tính hạt bơ có chỉ số loại bỏ iốt là 1142.1 mg/g và hiệu suất 75.09 % theo khối lượng.

Bên cạnh đó còn có nghiên cứu của Peñafiel và cộng sự (Peñafiel et al., 2021) đã ghi nhận khả năng hấp phụ của bã mía (SB) để loại bỏ ciprofloxacin (CIP) khỏi môi trường nước so với than thương mại (PAC). Cả hai chất hấp phụ đều đạt được hiệu suất loại bỏ tương tự khoảng 78% với hàm lượng SB và PAC tương đương 3 g/L và 0.3 g/L. Hiệu suất loại bỏ tối đa thu được ở môi trường pH từ 6 – 8 với khả năng hấp phụ cực đại của SB là 13.6 mg/g.

Ngoài ra, nghiên cứu của Li và cộng sự (Li et al., 2018) sử dụng bã trà (UTL) được nhiệt phân để điều chế than sinh học (UTC) để loại bỏ ciprofloxacin (CIP) trong môi trường nước. UTC thu được ở 450 °C cho thấy khả năng hấp thụ CIP tuyệt vời ở pH = 6 và 40 °C là 238.10 mg/g dựa trên mô hình đẳng nhiệt Langmuir. Tương tác π - π , liên kết hydro và lực hút tĩnh điện được coi là cơ chế hấp phụ chính. Nghiên cứu hiện tại không chỉ cung cấp một phương pháp khả thi và đầy hứa hẹn cho việc sử dụng UTL mà còn là vật liệu tiềm năng để loại bỏ CIP nồng độ cao khỏi môi trường nước.

1.4.2.2. Nghiên cứu trong nước

Trong nghiên cứu của Dao và cộng sự (Dao et al., 2020), phế phẩm nông nghiệp từ rom rạ, vỏ Limonia acidissima, vỏ bơ, bã trà và vỏ chuối được sử dụng để điều chế than hoạt tính hấp phụ kháng sinh Ciprofloxacin bằng phương pháp kiềm hóa ở 500 °C. Thu được than hoạt tính điều chế từ rom rạ có đặc tính ưu việt và hiệu suất loại bỏ Ciprofloxacin cao nhất trong 5 loại vật liệu. Diện tích bề mặt đạt 494.92 cm²/g và tổng thể tích lỗ rỗng đạt 0.494 cm³/g. Hơn nữa, hiệu suất hấp phụ Ciprofloxacin đạt 93.34% ở nồng độ 20 mg/L.

Tiếp theo là nghiên cứu của Tran và cộng sự về (Tran et al., 2022) than hoạt tính chiết xuất từ vỏ măng cụt (viết tắt là ACMP). ACMP được điều chế có diện tích bề mặt đạt 419.8554 m²/g và cấu trúc xốp. Tại thời gian bão hòa 60 phút, pH = 6 là tối ưu nhất cho quá trình hấp phụ, khối lượng chất hấp phụ tối ưu 3 g/L thu được khả năng hấp phụ CIP của ACMP là 29.76 mg/g.

Nghiên cứu của Van Tan và cộng sự (Van Tan et al., 2020) chú trọng vào điều chế than hoạt tính chiết xuất từ bã mía và tiềm năng của nó trong việc loại bỏ CIP khỏi nguồn nước. Bằng phương pháp hoạt hóa với hoạt chất $ZnCl_2$ thu được diện tích bề mặt riêng khoảng $980.84 \text{ m}^2/\text{g}$ và cấu trúc xốp. Ngoài ra, tại thời gian bão hòa 120 phút, khối lượng lượng chất hấp phụ 1.5 g/L thu được hiệu suất loại bỏ CIP là 95.59% , khả năng hấp phụ cực đại là 57.142 mg/g .

Chương 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. HÓA CHẤT VÀ THIẾT BỊ

2.1.1. Hóa chất

Bảng 2.1. Danh mục hóa chất sử dụng trong quá trình thực nghiệm

STT	Hóa chất	Độ tinh khiết	Nguồn gốc
1	Phosphoric acid	98%	Trung Quốc
2	Ciprofloxacin	98%	Sigma-Aldrich
3	Deionized Water (DI)		Việt Nam
4	Hydrochlorid acid	37%	Trung Quốc
5	Potassium hydroxide	85%	Trung Quốc
6	Sodium hydroxide	90%	Trung Quốc

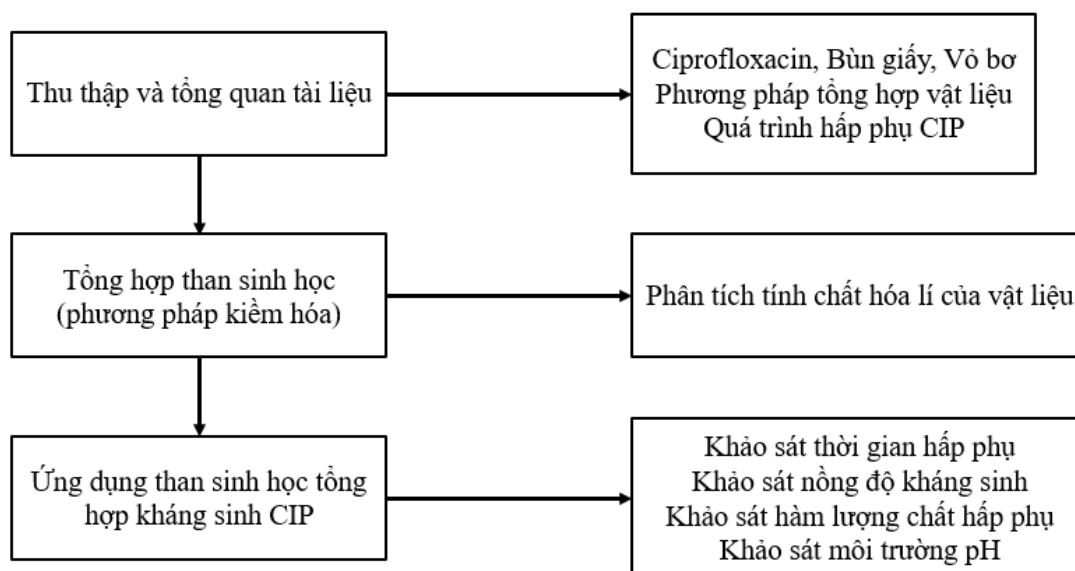
2.1.2. Thiết bị

Bảng 2.2. Danh mục thiết bị sử dụng trong quá trình thực nghiệm

STT	Thiết bị
1	Cân 4 số điện tử PA214
2	Máy quang phổ tử ngoại khả kiến Agilent Mỹ 1 VIS – CARY 60 Cone 0001
3	Máy lắc ổn nhiệt Jeitotech – IST – 4075
4	Tủ sấy Memmert 55 lít – UN110
5	Máy ly tâm tốc độ cao LACE16
6	Máy đo pH Milwaukee Mi 150
7	Lò nung 6 lít – ELF 11/6B 0002 – Anh
8	Bếp khuấy từ - SMHS – 3 – DAIHAN Scientific
9	Máy bơm chân không Rocker 300

2.2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

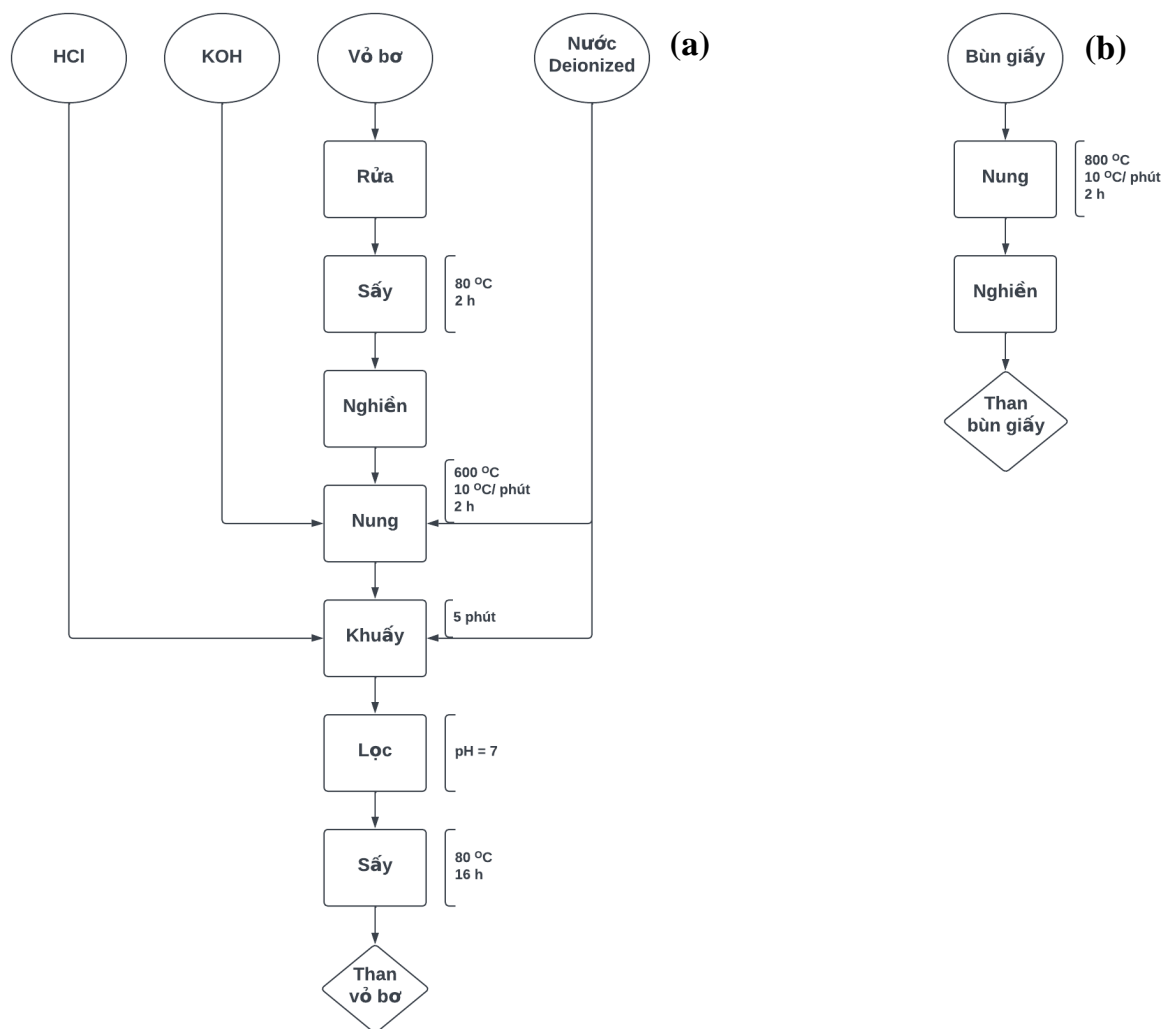
2.2.1. Sơ đồ nghiên cứu



Hình 2.1. Sơ đồ quy trình nghiên cứu

2.2.2. Bố trí thí nghiệm

2.2.2.1. Quy trình tổng hợp vật liệu hấp phụ



Hình 2.2. Sơ đồ quy trình tổng hợp vật liệu (a) AP-Char và (b) SP-Char

Giai đoạn 1: Bùn giấy được thu gom từ công ty Delfort, khu công nghiệp VISIP II, Bình Dương. Sau khi đem về phòng thí nghiệm, bùn được nung ở 800 °C trong 2 h, tốc độ gia nhiệt 10 °C/ phút. Sau khi nung, đem nghiền mịn, thu được than bùn giấy (SP-Char).

Giai đoạn 2: Vỏ bơ sau khi thu gom sẽ được sơ chế bằng cách rửa sạch và sấy ở 80 °C trong 2h, sau đó nghiền mịn. Tiếp theo vỏ bơ được kiềm hóa bằng KOH theo tỉ lệ 1:1 (wt/wt) ở 600 °C trong 2 h, tốc độ gia nhiệt 10 °C/ phút. Sau khi hoàn thành quá trình nung, mẫu được khuấy cùng 20 mL HCL 5M và 40 mL nước DI trong 5 phút. Lọc và rửa mẫu cho đến khi giá trị pH của vật liệu trung tính, tiếp đến sấy mẫu ở 80 °C trong 16 h, thu được than vỏ bơ (AP-Char). Nghiên cứu này được tham khảo dựa trên các đề tài trước. (Chowdhury et al., 2019; Dao et al., 2020)

2.2.2.2. Phân tích tính chất hóa lý của vật liệu

Hình thái bề mặt của AP-Char được quan sát bằng kính hiển vi điện tử quét SEM. Diện tích bề mặt và thể tích lỗ xốp của than hoạt tính được xác định bằng phương pháp Brunauer-Emmett-Teller (BET). Phổ FT-IR của than sinh học được ghi lại bằng máy quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier.

2.2.2.3. Xác định điểm đẳng điện của vật liệu AP-Char

Chuẩn bị dung dịch NaCl 0.01M, điều chỉnh pH của dung dịch từ 2 – 11 (pH_i). Tiếp đến, cân 0.01 g AP-Char vào erlen chứa 50 mL dung dịch NaCl đã điều chỉnh pH, lắc đều trong 24 h sau đó xác định giá trị pH (pH_f). Điện tích của vật liệu được xác định bởi chênh lệch giữa độ pH ban đầu (pH_i) và độ pH cuối cùng (pH_f) là ($\Delta\text{pH} = \text{pH}_i - \text{pH}_f$). Điểm đẳng điện của vật liệu là giao điểm của đường điện tích với trục hoành mà tại đó $\Delta\text{pH} = 0$.

2.3. ỨNG DỤNG BÙN GIẤY, VỎ BƠ TRONG VIỆC LOẠI BỎ KHÁNG SINH CIP TRONG MÔI TRƯỜNG NƯỚC

Sử dụng máy siêu âm để đồng nhất dung dịch kháng sinh CIP, đồng thời điều chỉnh pH của CIP bằng dung dịch NaOH 0.01N và HCl 0.05M. Cho 0.02 g AP-Char và 40 mL dung dịch CIP vào ống ly tâm, sau đó lắc mẫu bằng máy lắc với tốc độ lắc 200 rpm, thời gian lắc tùy thuộc vào thời gian hấp phụ cần khảo sát. Sau khi hấp phụ, mẫu được lọc ly tâm và đo nồng độ hấp phụ bằng máy đo quang học UV – Vis tại bước sóng 276 nm. Mỗi thực nghiệm được thực hiện 3 lần.

● Khả năng hấp phụ kháng sinh CIP theo thời gian của vật liệu được tính theo công thức (2.1)

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{m} \left(\frac{\text{mg}}{\text{g}} \right) \quad (2.1)$$

Trong đó:

- Khả năng hấp phụ theo thời gian t: q_t (mg/g)
- Thể tích dung dịch: V (L)
- Nồng độ kháng sinh ban đầu: C_0 (ppm)
- Nồng độ kháng sinh tại thời gian t: C_t (ppm)

- Khối lượng vật liệu hấp phụ: m (g)
- Hiệu suất loại bỏ kháng sinh CIP (RE) được tính theo công thức (2.2)

$$RE (\%) = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 \quad (2.2)$$

Trong đó:

- Nồng độ ban đầu của dung dịch kháng sinh: C_0 (ppm)
- Nồng độ còn lại của dung dịch kháng sinh: C_t (ppm)

2.3.1. Quy trình lập đường chuẩn

Chuẩn bị 100 mL dung dịch kháng sinh CIP, nồng độ 50 ppm trong bình định mức. Tiếp đến pha loãng dung dịch với các nồng độ tương ứng 5 ppm – 40 ppm tại một giá trị pH nhất định. Tiến hành đo bước sóng cực đại (276 nm) cũng như xây dựng đường chuẩn bằng phương pháp đo quang học UV – Vis ở các nồng độ nói trên. Sau khi có được kết quả tương ứng, xây dựng đồ thị, xác định phương trình tuyến tính.

2.3.2. Khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ

2.3.2.1. Khảo sát ảnh hưởng của pH và thời gian tiếp xúc

Yếu tố cố định:

- Nồng độ kháng sinh: 50 ppm
- Thể tích: 40 mL
- Khối lượng than sinh học: 0.02 g
- Tốc độ lắc: 200 rpm

Yếu tố khảo sát:

- pH: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
- Thời gian: 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 180, 240 (phút)

2.3.2.2. Khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng chất hấp phụ

Yếu tố cố định:

- Nồng độ kháng sinh: 50 ppm
- Thể tích dung dịch: 40 mL

- Tốc độ lắc: 200 rpm
- pH dung dịch: 2
- Thời gian: 120 phút

Yếu tố khảo sát:

- Hàm lượng vật liệu hấp phụ: 0.125, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.75, 2.5 g/L

2.3.2.3. Khảo sát ảnh hưởng của nồng độ kháng sinh

Yếu tố cố định:

- Thể tích dung dịch CIP: 40 mL
- Tốc độ lắc: 200 rpm
- pH dung dịch: 2
- Thời gian: 120 phút
- Khối lượng: 0.02 g

Yếu tố khảo sát:

- Nồng độ chất kháng sinh: 30, 50, 70, 150, 200, 250, 300 ppm

2.3.2.4. Khảo sát khả năng tái sử dụng của vật liệu AP-Char

Cân 0.02 g cho vào 40 mL dung dịch kháng sinh CIP 50 ppm, lắc đều trong 120 phút, tốc độ lắc 200 rpm. Mẫu sau khi lắc được lọc qua màng lọc Nylon 0.22 μm và đo quang tại bước sóng 276 nm. Sau đó, rửa vật liệu bằng 200 mL Ethanol và sấy ở 80 °C trong 16h để tiếp tục quá trình hấp phụ.

2.4. TÍNH TOÁN XỬ LÝ SỐ LIỆU QUÁ TRÌNH HẤP PHỤ

2.4.1. Động học hấp phụ

Động học hấp phụ của đề tài được phân tích bằng hai mô hình động học là mô hình động học Pseudo-first order (PFO) và mô hình động học Pseudo-second order (PSO).

● Phương trình PFO:

$$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t}) \quad (2.3)$$

Trong đó:

- Khả năng hấp phụ tại thời điểm bão hòa: q_e (mg/g)
- Khả năng hấp phụ theo thời gian t : q_t (mg/g)
- Hằng số bão hòa: k_1 (L/ phút).

● Phương trình PSO:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{t} \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} \quad (2.4)$$

Trong đó:

- Khả năng hấp phụ tại thời điểm bão hòa: q_e (mg/g)
- Khả năng hấp phụ theo thời gian t : q_t (mg/g)
- Hằng số bão hòa: k_2 (L/ phút).

2.4.2. Đường đẳng nhiệt hấp phụ

Mô hình đẳng nhiệt hấp phụ của đề tài được phân tích bằng mô hình đẳng nhiệt Langmuir và mô hình đẳng nhiệt Freundlich.

● Phương trình của mô hình đẳng nhiệt Langmuir:

$$q_e = \frac{Q_m K_L C_e}{(1 + K_L C_e)} \quad (2.5)$$

Trong đó:

- Khả năng hấp phụ tại thời điểm bão hòa: q_e (mg/g)
- Khả năng hấp phụ tối đa của vật liệu: Q_m (mg/g)
- Hằng số Langmuir: K_L (L/g hoặc L/mol);
- Nồng độ tại thời điểm bão hòa: C_e (mol/L)

● Phương trình của mô hình đẳng nhiệt Freundlich:

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (2.6)$$

Trong đó:

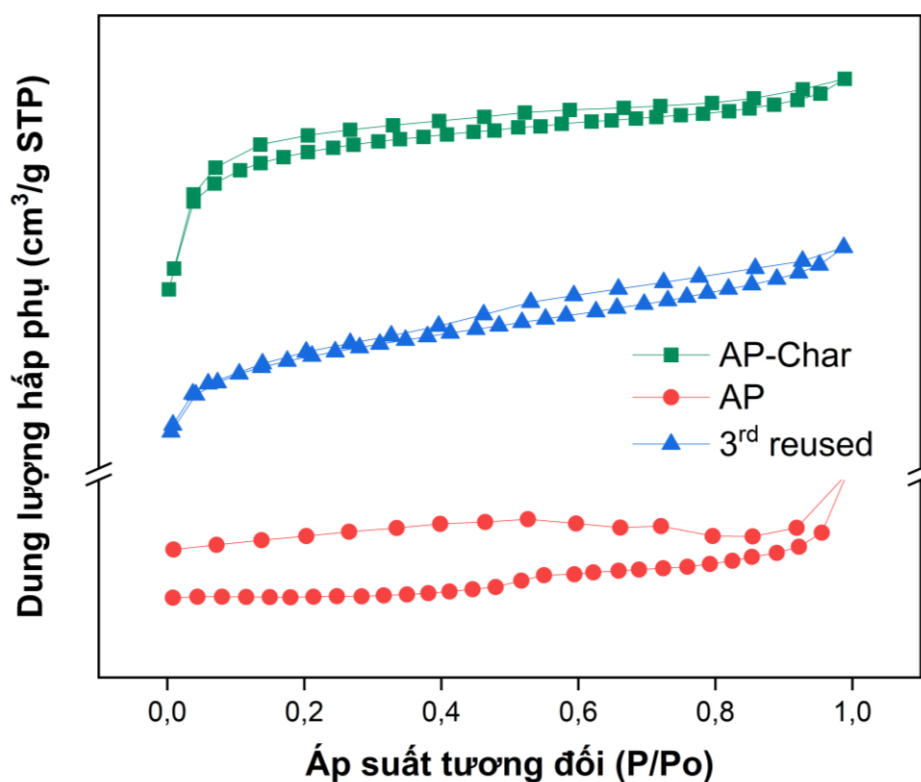
- Khả năng hấp phụ tại thời điểm bão hòa: q_e (mg/g)
- Cường độ hấp phụ: $1/n$
- Hằng số Freundlich: K_F (L/g hoặc L/mol);
- Nồng độ tại thời điểm bão hòa: C_e (mol/L)

Chương 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. TÍNH CHẤT HÓA LÝ CỦA VẬT LIỆU AP-CHAR

3.1.1. N₂-sorption

Việc xác định các đặc tính hình thái vật lý, cụ thể là độ xốp, diện tích bề mặt, thể tích và kích thước lỗ xốp được trình bày trong **Hình 3.1** và **Bảng 3.1**. Đường đẳng nhiệt của vỏ bơ (AP) thuộc type II theo phân loại IUPAC, điển hình cho loại vật liệu không có lỗ xốp hoặc có lỗ xốp lớn. Vật liệu hấp phụ đơn lớp tại áp suất tương đối thấp và hấp phụ đa lớp ở áp suất tương đối cao. Sau khi trải qua quá trình kiểm hóa, đường đẳng nhiệt hấp phụ của vật liệu AP-Char hình thành type IV-mesoporous theo phân loại của IUPAC, điển hình cho các dạng vật liệu có lỗ xốp cỡ trung bình. Quá trình hấp phụ của các lỗ xốp trung bình tiến hành theo hai giai đoạn, đầu tiên hấp phụ đơn lớp trên các thành mao quản tại áp suất tương đối thấp (0 – 0.4) và đa lớp khi áp suất đạt đến một phạm vi tương đối cao hơn sau đó vòng trễ nằm trong khoảng áp suất từ 0.45 đến 0.98 được hình thành do sự xuất hiện ngưng tụ mao quản. Vòng trễ của AP-Char thuộc dạng H4, cho thấy rằng các mao quản có dạng hình khe hẹp, thể hiện sự hấp phụ từng lớp trên bề mặt và có độ đồng đều cao. AP-Char có tổng diện tích bề mặt $S_{BET} = 878 \text{ m}^2/\text{g}$, trong đó mao quản trung bình có diện tích $469 \text{ m}^2/\text{g}$, vì mao quản có diện tích $408 \text{ m}^2/\text{g}$, kích thước trung bình mao quản khoảng 2.74 nm và thể tích mao quản khoảng $0.3 \text{ cm}^3/\text{g}$. Quá trình kiểm hóa ở nhiệt độ cao góp phần đảm bảo chuyển hóa hoàn toàn các hợp chất hữu cơ chứa trong vật liệu thành cấu trúc graphene. Tác giả Dao và cộng sự (Dao et al., 2020) cũng đã dùng phương pháp này để chế tạo vật liệu than sinh học từ rơm rạ ứng dụng trong việc loại bỏ kháng sinh CIP trong nước.



Hình 3.1. Đường đẳng nhiệt hấp phụ (N_2 -isotherm) AP, AP-Char và 3rd reused

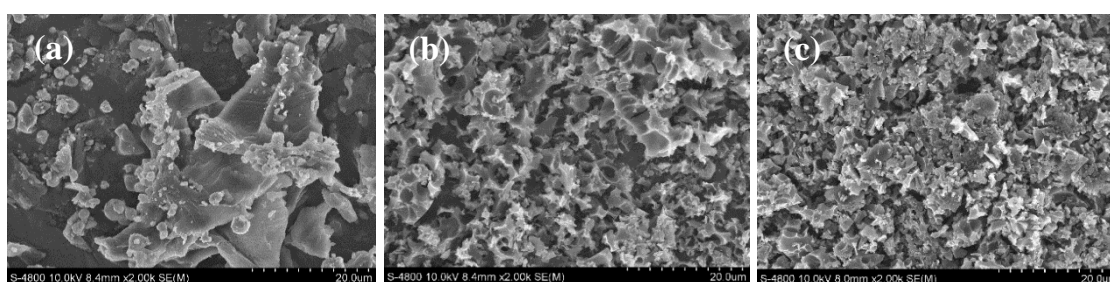
Bảng 3.1. Tình chất của vật liệu AP, AP-Char, 1st reused và 3rd reused

Mẫu	Mesopore (m^2/g)	Micropore (m^2/g)	Tổng diện tích bề mặt riêng (m^2/g)	Thể tích lỗ xốp (cm^3/g)	Kích thước trung bình lỗ xốp (nm)
AP	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
AP-Char	469.56	407.95	877.52	0.30	2.74
1 st reused	323.93	279.88	603.80	-	-
3 rd reused	289.89	122.03	411.92	0.20	2.91

3.1.2. SEM

Cấu trúc hình thái của bề mặt vật liệu được mô tả qua Hình 3.2. Đối với vật liệu vỏ bor (AP) (Hình 3.2a) có thể dễ dàng nhận ra bề mặt của vật liệu khá gồ ghề, xếp chồng lên nhau và dường như không có mao quản. Sau quá trình kiềm hóa, bề mặt của vật liệu AP-Char (Hình 3.2b) xuất hiện nhiều mao quản và có sự phân bố đồng đều hơn so với vật liệu chưa được kiềm hóa, chứng minh sự hình thành các vi lỗ xốp và gia tăng mật độ lỗ xốp của AP-Char. Quá trình kiềm hóa tại nhiệt độ cao gây nên sự mở rộng khoảng cách giữa các lớp nguyên tử cacbon đồng thời gia tăng thể tích mao quản do quá trình

phá vỡ các vi mao quản thành mao quản trung bình (Dao et al., 2020). Ngoài ra trong nghiên cứu trước đó của tác giả Palma và cộng sự (Palma et al., 2016) còn nhấn mạnh rằng trong khi các nguyên tử cacbon hấp thụ khí thường có nhiều vi mao quản hơn, thì các nguyên tử cacbon hấp thụ chất lỏng sẽ phù hợp với các lỗ xốp trung bình do kích thước của các phân tử chất lỏng lớn hơn. Hơn nữa, việc tạo ra các nguyên tử cacbon có lỗ xốp trung bình sẽ tạo điều kiện cho các phân tử của chất bị hấp phụ tiếp cận đến vùng bên trong các lỗ rỗng của vật liệu. **Hình 3.2c** minh họa cho sự biến đổi cấu trúc hình thái của AP-Char sau khi tái sử dụng lần thứ 1. Các mao quản được lấp đầy, diện tích bề mặt giảm còn 603.80 (m²/g) thông qua phân tích đường đẳng nhiệt N₂, tuy nhiên vật liệu vẫn còn duy trì được độ xốp và cấu trúc hình thái cũng không có sự khác biệt quá lớn so với lần sử dụng đầu tiên.



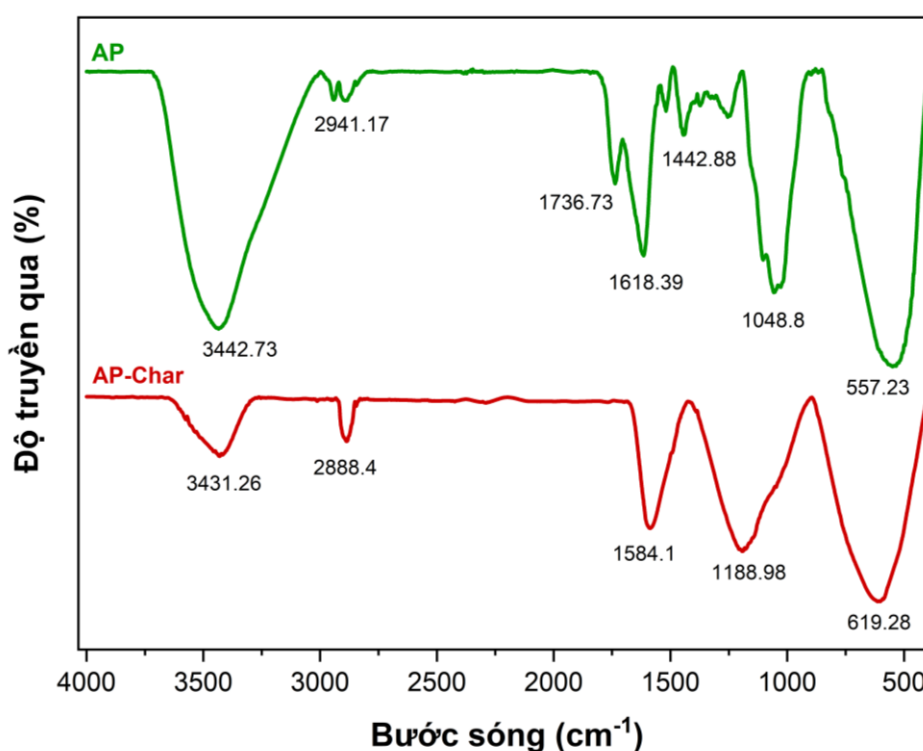
Hình 3.2. Hình thái bề mặt SEM với độ phóng đại x2000 (a) AP, (b) AP-Char và (c) 1st reused

3.1.3. Phổ FT-IR

Các nhóm chức trên bề mặt vật liệu vỏ bơ (AP) và vật liệu AP-Char được thể hiện ở **Hình 3.3** sau khi tiến hành đo phổ hồng ngoại (FT-IR). Một dải phổ rộng được tìm thấy trong phạm vi 3500 – 3000 cm⁻¹ ở cả hai vật liệu AP và AP-Char, cho thấy sự hiện hữu của các nhóm chức như phenol, axit cacboxylic và các dẫn xuất của axit cacboxylic. Các dải này được hình thành do các dao động kéo dãn của nhóm chức O-H và trở nên rộng hơn trong trường hợp vật liệu bị kiềm hóa. Bên cạnh đó, dao động kéo dãn của các liên kết C-H đặc trưng cho các nhóm -CH₂, -CH₃ xuất hiện ở các peak 2941.17 cm⁻¹ và 2888.4 cm⁻¹. Ngoài ra, vị trí điển hình cho dao động C-O của các nhóm xeton, andehit hay lacton xuất hiện trong vùng 1442.88 cm⁻¹ (Dao et al., 2020). Hơn thế nữa, sự xuất peak 1736.73 cm⁻¹ là do dao động kéo dài của C=O trong các nhóm cacboxyl không ion trong este và axit cacboxylic. Bên cạnh đó, nghiên cứu trước đó của Eletta và cộng sự còn chỉ ra rằng quá trình hoạt hóa ở nhiệt độ cao đã phá vỡ một số liên kết giữa các phân tử gây nên sự suy giảm của một số nhóm chức ban đầu có trong vật liệu ở nhiệt độ thấp,

đó là axit cacboxylic (1584.1 cm^{-1}) và dao động uốn C–H (619.28 cm^{-1}) (Eletta, Adeniyi, Ighalo, Onifade, & Ayandele, 2020).

Có thể thấy rằng, không có sự khác biệt quá lớn trong cấu trúc nhóm chức của vật liệu AP và AP-Char. Tuy nhiên, ở vật liệu AP-Char sau khi được hoạt hóa, cường độ peak lớn hơn, các mũi cũng nhọn hơn so với vật liệu AP. Cụ thể ở vật liệu AP-Char các peak 1584.1 cm^{-1} , 1188.98 cm^{-1} và 619.28 cm^{-1} có cường độ peak rộng hơn so với các peak 1618.39 cm^{-1} , 1048.8 cm^{-1} và 557.23 cm^{-1} của vật liệu AP.

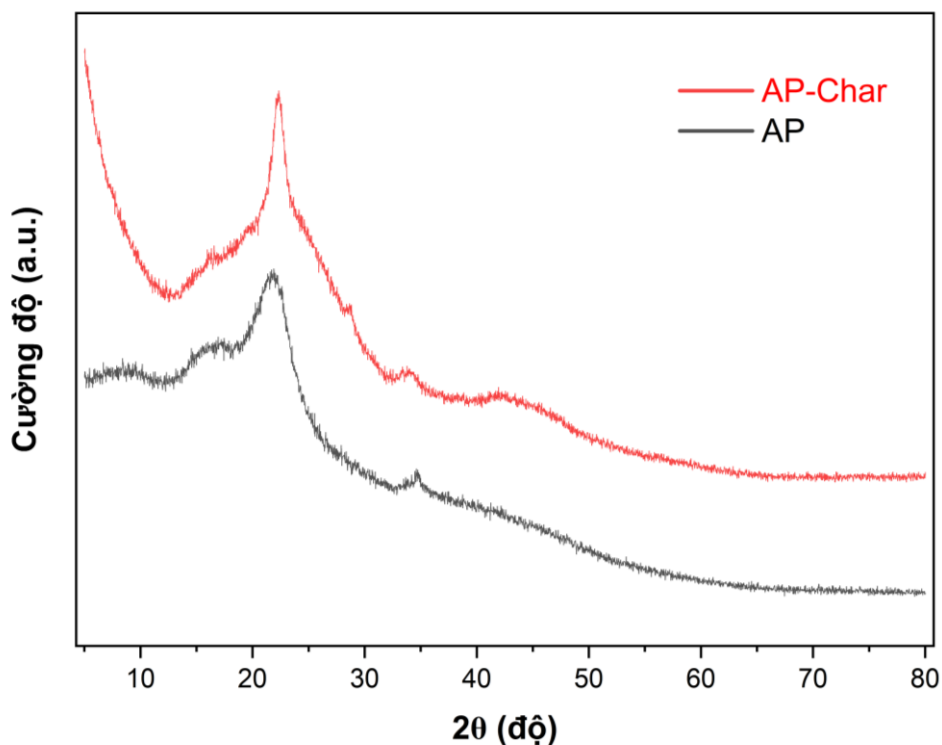


Hình 3.3. Kết quả phân tích FTIR của vật liệu AP và AP-Char

3.1.4. Nhiễu xạ tia X (XRD)

Cấu trúc tinh thể của vật liệu đạt được bằng cách sử dụng phương pháp nhiễu xạ tia X, thể hiện qua **Hình 3.4**. Các đỉnh nhiễu xạ mạnh được thể hiện ở 2θ từ 22° - 23° và các đỉnh nhiễu xạ yếu hơn được thể hiện ở 2θ từ 34° - 35° . Các đỉnh này xác nhận sự hiện diện của cacbon vô định hình trong các mẫu AP và AP-Char. Tất cả các loại than hoạt tính đều có các đỉnh nằm ở xấp xỉ gần 26° tương ứng với pha khoáng vật của than chì (Kumar, Kannan, & Kadirvelu, 2017). Bên cạnh đó còn có thể nhận thấy sự khác biệt giữa AP và AP-Char khi ở $2\theta = 23^\circ$, AP-Char có đỉnh nhiễu xạ nhọn hơn và đỉnh nhọn này không xuất hiện ở vật liệu chưa được hoạt hóa (Sivachidambaram et al., 2017). Do

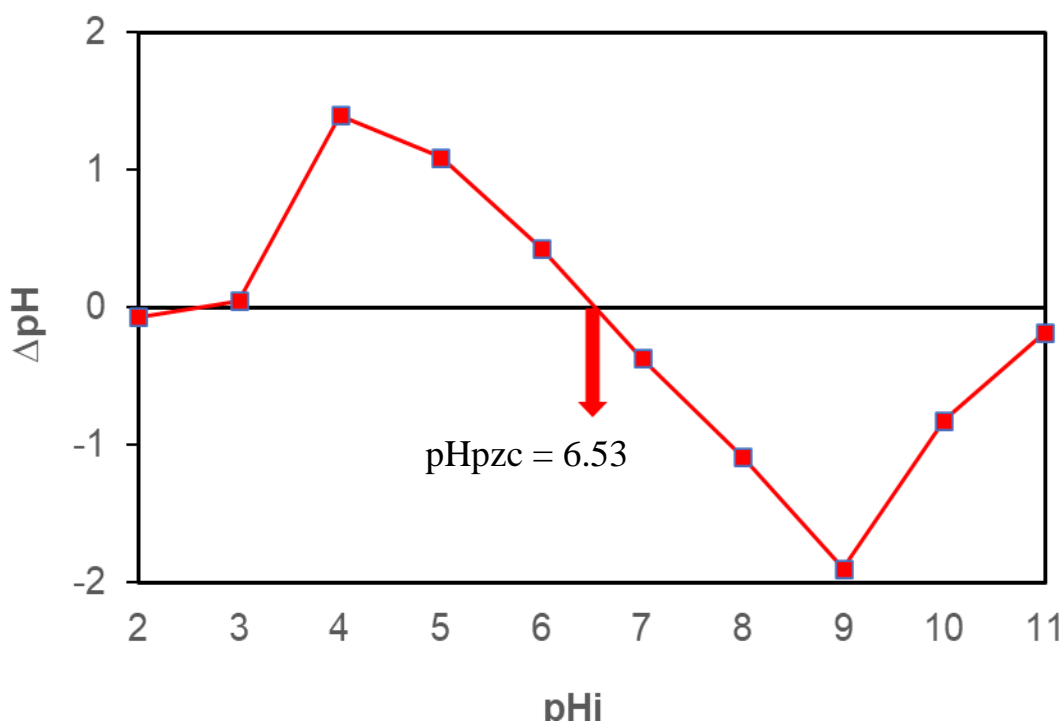
đó, những phát hiện nói trên cũng chứng minh hiệu quả của phương pháp kiềm hóa khi tổng hợp vật liệu.



Hình 3.4. Kết quả phân tích XRD của vật liệu AP và AP-Char

3.1.5. Khảo sát điểm đẳng điện của vật liệu

pH_{pzc} là giá trị pH mà tại đó điện tích trên bề mặt vật liệu carbon trung hòa về điện tích (bằng không). Bề mặt của vật liệu AP-Char sẽ mang điện tích dương khi giá trị $pH < pH_{pzc}$ và mang điện tích âm khi giá trị $pH > pH_{pzc}$. Từ **Hình 3.5**, ta có thể quan sát được điểm đẳng điện của vật liệu nằm tại giá trị $pH_{pzc} = 6.53$. Khi độ pH của dung dịch cao hơn giá trị của pH_{pzc} , bề mặt của chất hấp phụ sinh học có điện tích âm do các nhóm axit bị khử liên kết và do đó nó có thể tương tác hiệu quả hơn với các cation của CIP (Palma et al., 2016).



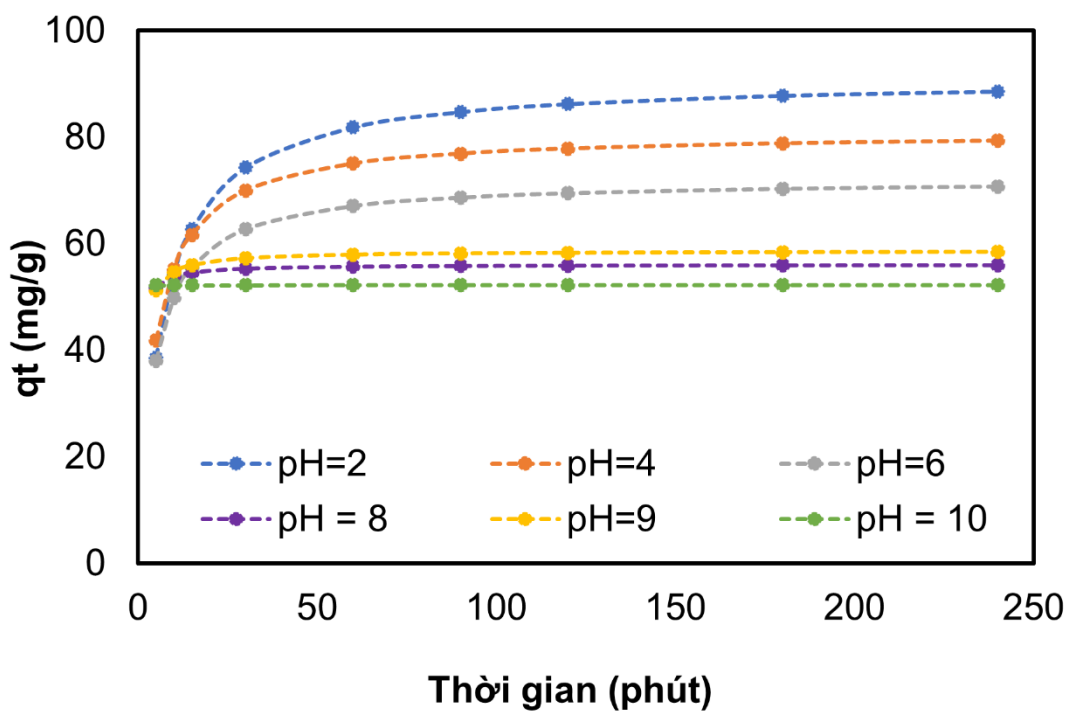
Hình 3.5. Khảo sát điểm đẳng điện của vật liệu AP-Char

3.2. KHẢO SÁT CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN QUÁ TRÌNH HẤP PHỤ KHÁNG SINH CIPROFLOXACIN BẰNG VẬT LIỆU AP-CHAR

3.2.1. Ảnh hưởng của thời gian hấp phụ, môi trường pH

Quá trình hấp phụ bị ảnh hưởng phần lớn bởi thời gian hấp phụ và môi trường pH. Mục đích của khảo sát này là tìm ra giá trị pH mà tại đó khả năng hấp phụ cũng như hiệu suất loại bỏ của AP-Char đạt cực đại. **Hình 3.6** thể hiện được khoảng thời gian đạt đến ngưỡng hấp phụ bão hòa của vật liệu AP-Char. Giá trị qt đại diện cho khả năng hấp phụ theo thời gian (5 – 240 phút). Có thể thấy sau 30 phút đầu tiên khả năng hấp phụ của AP-Char tăng nhanh, duy trì ổn định và đạt trạng thái cân bằng từ sau 120 phút, đó cũng chính là thời gian hấp phụ bão hòa mà vật liệu AP-Char đạt được. Trên bề mặt của than sinh học, một số lượng lớn các nhóm chức, chẳng hạn như nhóm carboxyl, hydroxyl và ketone, có mặt và góp phần không nhỏ trong việc tối ưu khả năng loại bỏ của chất hấp phụ. Các nhóm chức này liên kết với các phân tử CIP, do đó gây ra hiện tượng hấp phụ trên bề mặt vật liệu (Dao et al., 2020). Bên cạnh đó, **Hình 3.6** cũng cho thấy tại môi trường pH = 2, khả năng hấp phụ theo thời gian của AP-Char đạt ngưỡng cực đại với giá trị qt = 95.57 mg/g, tại thời gian 240 phút. Vì thế pH = 2 chính là môi trường pH thuận lợi nhất cho quá trình hấp phụ. Đối với CIP, tồn tại hai hằng số phân ly. Hằng số phân ly thứ nhất $pK_{a1} = 5.9$ liên quan đến sự khử proton của nhóm carboxylic và hằng

số phân ly thứ hai $pK_{a2} = 8.9$ liên quan đến sự proton hóa nhóm amin, do đó CIP có thể tồn tại dưới dạng cation, anion và zwitterion. Khi chất hấp phụ mang điện tích bề mặt âm, sự hấp phụ có thể thông qua trao đổi cation với nhóm amin được proton hóa. Còn với những chất hấp phụ có điện tích bề mặt dương, sự hấp phụ thông qua các tương tác phức tạp bởi các nhóm carboxylic bị khử proton. Tại hằng số phân ly $pK_{a1} = 5.9$, các ion CIP có điện tích dương cho phép chúng thiết lập tương tác với các ion mang điện tích âm trên bề mặt chất hấp phụ. Tuy nhiên tại môi trường $pH = 2$ của dung dịch CIP, khi kết hợp khảo sát điểm đẳng điện của vật liệu, vật liệu sẽ mang điện tích dương. Do đó, tương tác giữa vật liệu và CIP là tương tác $\pi-\pi$. (Igwegbe et al., 2021)

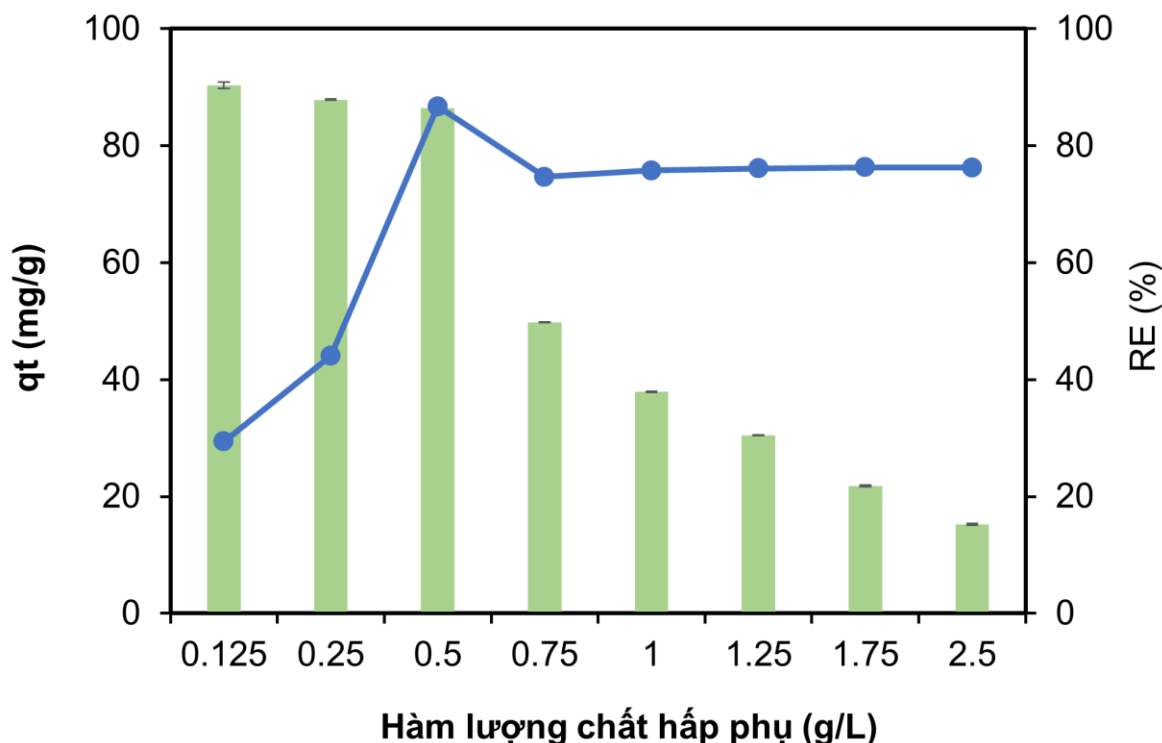


Hình 3.6. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của pH và thời gian đến quá trình hấp phụ

3.2.2. Ảnh hưởng của hàm lượng chất hấp phụ AP-Char

Hiệu suất loại bỏ phụ thuộc rất nhiều vào nồng độ ban đầu của CIP và hàm lượng chất hấp phụ. **Hình 3.7** đã thể hiện rõ tác động của hàm lượng chất hấp phụ đến quá trình loại bỏ CIP. Khả năng hấp phụ không thay đổi quá nhiều khi tăng hàm lượng chất hấp phụ từ 0.125 g/L đến 0.5 g/L nhưng bắt đầu giảm dần đều khi hàm lượng chất hấp phụ tăng từ 0.75 g/L đến 2.5 g/L. Ngược lại, hiệu suất loại bỏ CIP có xu hướng tăng từ 29.41 % đến 44.10 % và đạt ngưỡng cực đại 86.74% tại hàm lượng chất hấp phụ là 0.5 g/L sau đó giảm dần và duy trì trạng thái bão hòa. Dung lượng hấp phụ cao hơn luôn dẫn đến sự hấp phụ lớn hơn và ngược lại. Tuy nhiên, ở hàm lượng khá cao, sự hấp phụ dần

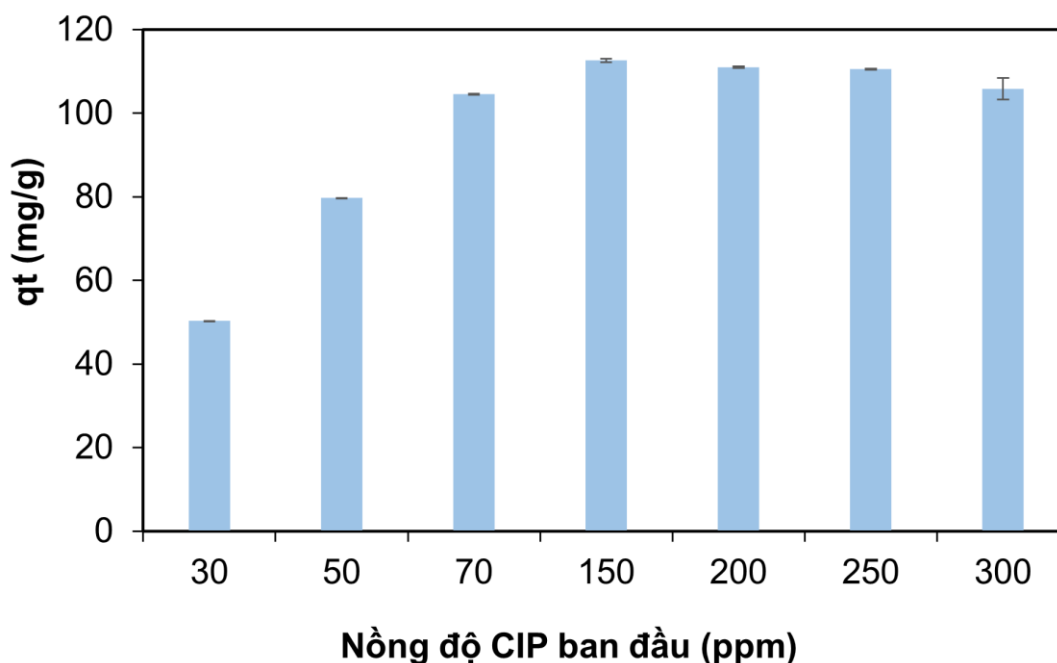
giảm, điều này cho ta thấy dấu hiệu của một cơ chế hấp phụ thuận nghịch. Sự hấp phụ thường diễn ra nhanh ở thời gian đầu do lực truyền qua ở nồng độ cao, sau đó trở nên chậm hơn và đạt trạng thái bão hòa vì việc giảm dần nồng độ của dung dịch hấp phụ sẽ gây ra sự chiếm đóng của phần lớn các vị trí hoạt động trên chất hấp phụ (Eletta et al., 2020).



Hình 3.7. Kết quả khảo sát sự ảnh hưởng của hàm lượng chất hấp phụ

3.2.3. Ảnh hưởng của nồng độ kháng sinh CIP trong dung dịch

Hình 3.8 cho ta thấy được rõ ảnh hưởng của nồng độ kháng sinh CIP. Khi tăng nồng độ từ 30 đến 70 ppm, khả năng hấp phụ theo thời gian cũng tăng dần đều với các giá trị qt từ 50.29 mg/g đến 104.51 mg/g. Vật liệu AP-Char đạt ngưỡng bão hòa tại nồng độ 150 ppm tương đương với giá trị qt = 112.61 mg/g và duy trì trạng thái ổn định, khả năng hấp phụ theo thời gian không thể hiện sự thay đổi quá nhiều khi tiếp tục khảo sát tại các nồng độ 200, 250, 300 ppm. Ngược lại, khi tăng nồng độ CIP hiệu suất hấp phụ của vật liệu AP-Char giảm. Có thể lý giải rằng, khi vật liệu đạt ngưỡng bão hòa, đồng thời quá trình giải hấp cũng bắt đầu xảy ra dẫn đến khi nồng độ kháng sinh được gia tăng sẽ gây ra sự suy giảm hiệu suất hấp phụ.

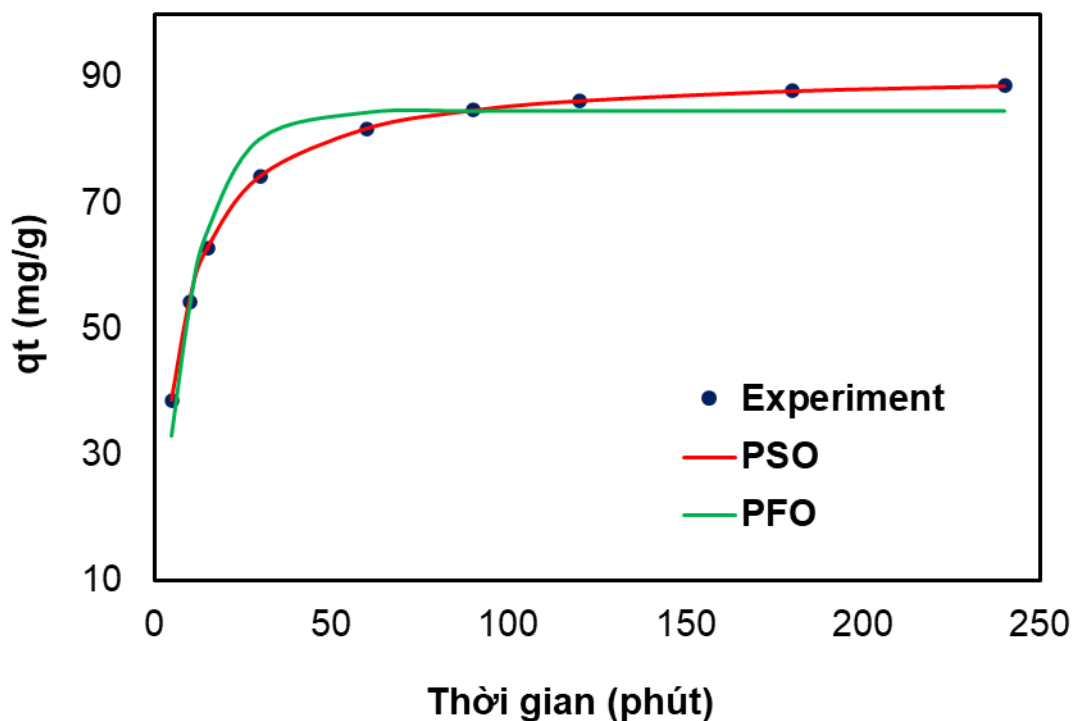


Hình 3.8. Khảo sát ảnh hưởng của nồng độ kháng sinh CIP

3.3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN ĐỘNG HỌC VÀ ĐẶNG NHIỆT QUÁ TRÌNH HẤP PHỤ

3.3.1. Mô hình động học quá trình hấp phụ

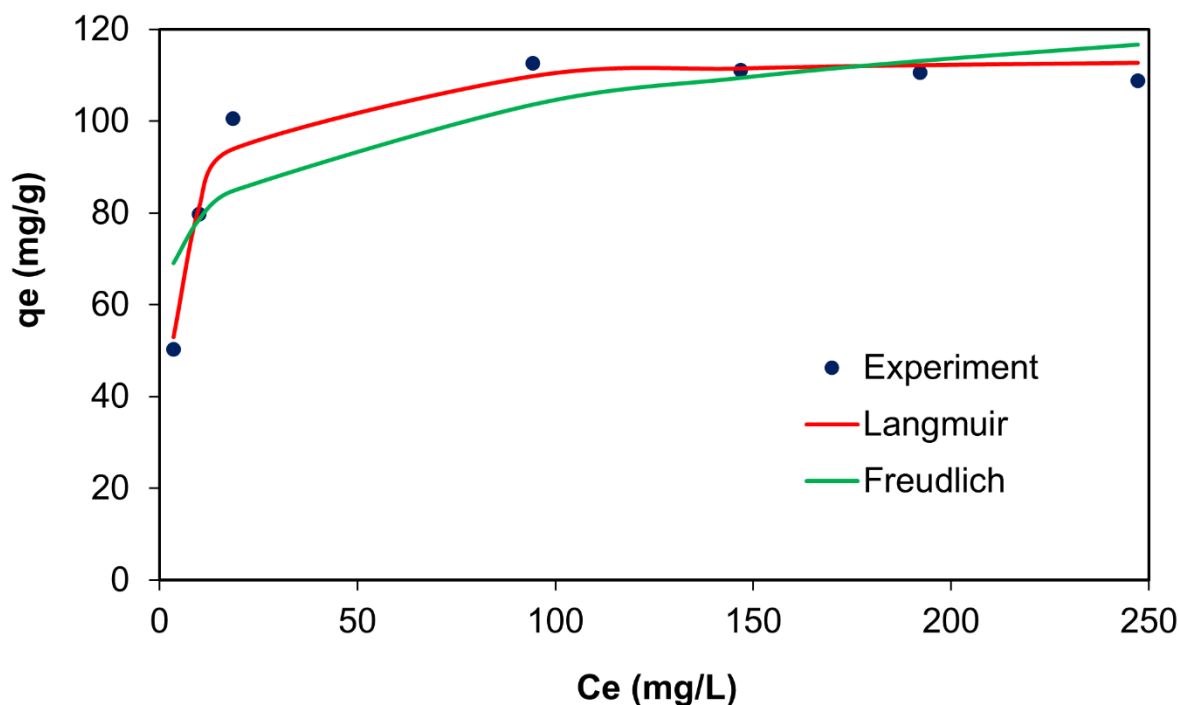
Hình 3.9 chỉ ra các số liệu thực nghiệm của mô hình động học Pseudo-first order (PFO) và Pseudo-second order (PSO). Qua đó có thể thấy mô hình PSO tiệm cận với khả năng hấp phụ tối đa trong thực nghiệm hơn mô hình PFO, vậy nên mô hình PSO phù hợp với khả năng hấp phụ CIP của vật liệu AP-Char hơn mô hình PFO. Do đó, mô hình động học Pseudo second order được coi là thích hợp để miêu tả quá trình hấp phụ của nghiên cứu này.



Hình 3.9. Kết quả tính toán động học hấp phụ

3.3.2. Mô hình đẳng nhiệt (Isotherm)

Sự tương tác giữa CIP và vật liệu AP-Char trong quá trình hấp phụ được dự đoán bởi mô hình đẳng nhiệt Langmuir và Freudlich. Dựa vào các thông số được tính toán và liệt kê ở **Bảng 3.2**, hệ số phi tuyến tính R^2 đã cho chỉ ra rằng mô hình Langmuir tương đồng hơn với quá trình hấp phụ thực nghiệm với hệ số tương quan lớn hơn đáng kể. Hơn nữa, mô hình Langmuir vượt trội so với mô hình Freudlich về tính ổn định. Điều này được làm sáng tỏ thêm nhờ vào **Hình 3.10**, qua đó xác định được quá trình AP-Char hấp phụ CIP là hấp phụ đơn lớp trên bề mặt đồng nhất của AP-Char (Igwegbe et al., 2021). Trên bề mặt của vật liệu hiện diện một số lượng hữu hạn các vị trí giống hệt nhau về mặt năng lượng. Ngoài ra lượng chất bị hấp phụ không ảnh hưởng đến tốc độ hấp phụ, bên cạnh đó, khi vật liệu đạt đến ngưỡng bão hòa, trên bề mặt hình thành một lớp đơn (Ighalo & Adeniyi, 2020).



Hình 3.10. Kết quả mô hình đẳng nhiệt hấp phụ

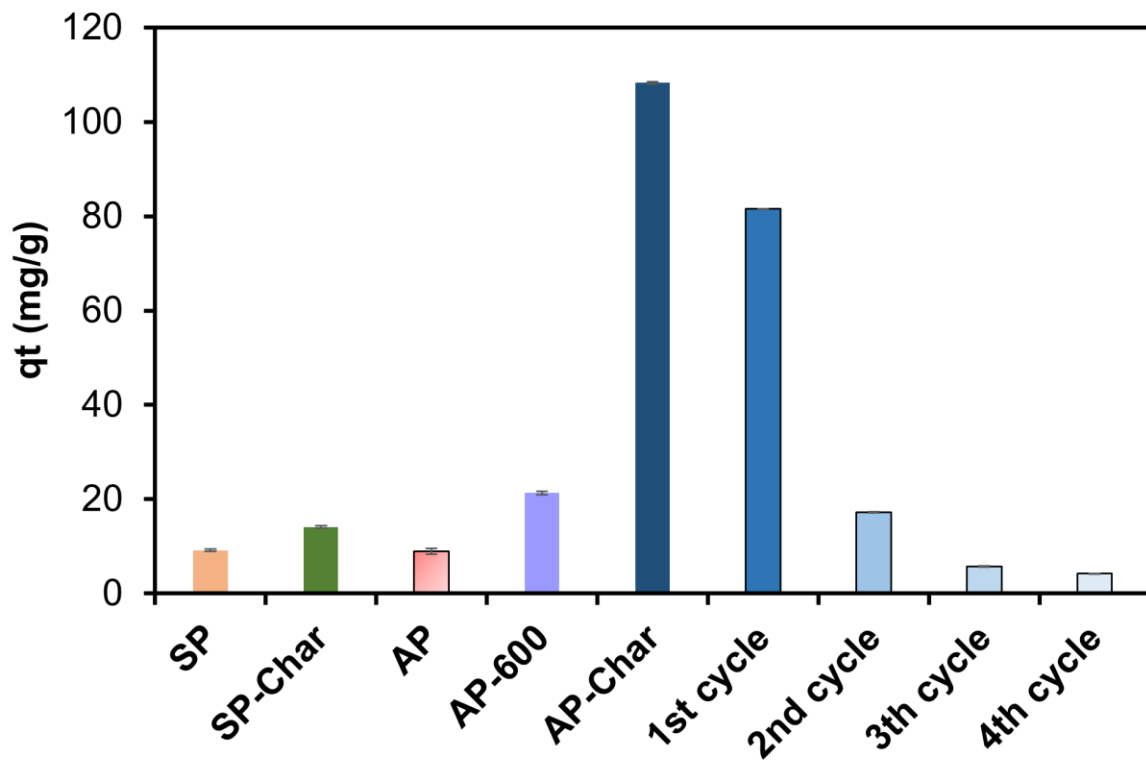
Bảng 3.2. Kết quả mô hình đẳng nhiệt hấp phụ của vật liệu tại pH = 2, $C_{CIP} = 50$ ppm, $t = 120$ phút, $m = 0.02$ g

Mẫu	q_t (thực nghiệm) (mg/g)	Langmuir			Freulich		
		Q_m (mg/g)	K_L	R^2	K_F	n	R^2
AP-Char	88.15	114.53	0.24	0.98	59.16	8.11	0.71

3.4. TÁI SỬ DỤNG CỦA VẬT LIỆU AP-CHAR

Khả năng tái sử dụng là yếu tố quan trọng trong việc thương mại hóa vật liệu. Thông qua **Hình 3.11**, có thể thấy khả năng hấp phụ ngày càng giảm sau bốn lần tái sử dụng 1st, 2nd, 3rd, 4th tương ứng $q_t = 81.51$ mg/g, 17.22 mg/g, 5.73 mg/g và 4.17 mg/g so với lần hấp phụ đầu tiên là 108.25 mg/g. Do đó, vật liệu AP-Char với khả năng tái sử dụng thấp.

Ngoài ra, đề tài còn kết hợp so sánh khả năng hấp phụ của các loại vật liệu sinh khối khác, với các yếu tố hoạt hóa khác nhau như bùn giấy (SP), bùn giấy được hoạt hóa (PS-Char), vỏ bơ (AP) và vỏ bơ được hoạt hóa (AP-600) cùng với vật liệu AP-Char. Kết quả của **Hình 3.10** thể hiện AP-Char có khả năng hấp phụ vượt trội hơn nhờ vào cấu trúc bề mặt của vật liệu sau khi được hoạt hóa cùng KOH, giúp hình thành và gia tăng các mao quản hơn so với các vật liệu khác không được hoạt hóa cùng KOH.



Hình 3.11. Khả năng tái sử dụng của vật liệu AP-Char, so sánh với các vật liệu SP, SP-Char, AP, AP-600

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Than sinh học từ vỏ bơ đã được tổng hợp thành công bằng phương pháp kiềm hóa. Các tính chất hóa lý của vật liệu AP-Char đã được phân tích, cho thấy cấu trúc cacbon vô định hình, cấu trúc lỗ xốp trung bình rõ rệt sau khi được kiềm hóa, diện tích bề mặt riêng lên đến 878 m²/g góp phần nâng cao khả năng hấp phụ. Hơn nữa, quá trình hấp phụ còn cho thấy, tại thời gian bão hòa 120 phút, hàm lượng chất hấp phụ 0.5 g/L, thu được hiệu suất loại bỏ CIP lên đến 93%. Vì thế, việc sử dụng than sinh học có nguồn gốc từ vỏ bơ như một chất thay thế tiềm năng cho các chất hấp phụ thương mại trong điều trị kháng sinh trong môi trường nước là khả thi.

2. Kiến nghị

Để hoàn thiện hơn nghiên cứu, có thể khai thác thêm các hướng như:

- Ứng dụng vật liệu sinh học biến tính từ vỏ bơ trên các loại kháng sinh khác nhau tồn tại trong môi trường nước thải
- Ứng dụng quy trình công nghệ trong nghiên cứu này nhằm sản xuất các loại than sinh học an toàn, bên cạnh đó cũng giải quyết các vấn đề ô nhiễm của môi trường