



Nghiên cứu sử dụng tro trấu làm vật liệu hấp phụ một số thuốc kháng sinh, kháng viêm trong môi trường nước
Study on using rice-husk ash as an adsorbent for some antibiotic and anti-inflammatory drugs in aqueous

Nguyễn Dương Công Thành¹, Hoàng Minh Phương¹, Trần Minh Hoàng¹, Đào Đình Bách¹, Đỗ Việt Hưng¹, Nguyễn Thị Nga², Nguyễn Thị Thủy^{1,*}

¹ Trường Trung học phổ thông Vinschool Imperia, KĐT Vinhomes Imperia, Thương Lý, Hồng Bàng, Hải Phòng

² Trường Cao Đẳng Y Tế Hà Nội, Số 35, Phố Đoàn Thị Điểm, Phường Quốc Tử Giám, Quận Đống Đa, Hà Nội

*Email: thuylt208@vinschool.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 17/2/2022

Accepted: 28/5/2022

Published: 25/6/2022

Keywords:

Rice-husk ash, antibiotic drug, anti-inflammatory drug, adsorption

ABSTRACT

Rice-husk ash (RHA) is prepared from a by-product of rice production. Its main component is silic dioxide. Thanks a zeolite-like structure, it could be used as an adsorbent. In this study, RHA was used to remove some antibiotic and anti-inflammatory drugs in aqueous medium such as Cefuroxim, Dexamethasone, Methylprednisolone, Prednisolon. These drugs are recommended to use at home for Covid-19 patients. The RHA has a specific surface area of 179.797 m²/g), the pore size of 63.547 m²/g, the average particle size of 3.8 μm. The zeta potential of RHA in distilled water of -42.5 V, the point of zero charge of 6.7. The main composition of elements in RHA is Si, O, C. Among investigated samples, the Cefuroxim adsorption efficiency of RHA is the best, with a adsorption capacity reached 1.43 mg.g⁻¹ and adsorption efficiency reached 86.00 % at the optimum adsorption condition of pH solution of 7, adsorption time of 150 min, RHA weight of 0.3 g and the initial drug concentration of 5.0 mg.L⁻¹.

Giới thiệu chung

Trong ba năm gần đây, thế giới đang phải đối mặt với đại dịch Covid-19, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến nền kinh tế cũng như gánh nặng đối với ngành công nghệ dược. Các sản phẩm hỗ trợ, ngăn ngừa và điều trị bệnh Covid-19 ra đời, trong đó các sản phẩm thuốc kháng sinh, kháng viêm dùng để phòng ngừa và điều trị bệnh Covid 19 được phát triển mạnh mẽ. Cùng với đó là vấn đề ô nhiễm môi trường do quá trình điều chế sản phẩm thuốc kháng sinh, kháng viêm đào thải ra môi trường thông qua hoạt

động sản xuất và quá trình trao đổi chất của cơ thể người. Các loại thuốc kháng sinh, kháng viêm nói chung khi xâm nhập vào trong các khu vực nước tự nhiên sẽ khiến cho các vi khuẩn thích nghi với môi trường kháng kháng sinh và trở nên kháng thuốc, đồng thời làm thay đổi hành vi của một số loài động vật [1]. Điều này sẽ là thách thức cho việc điều trị bệnh trong tương lai.

Để xử lý thuốc kháng sinh, kháng viêm trong nước, các nhà khoa học ở trong nước và trên thế giới đang tích cực tìm kiếm các giải pháp hiệu quả [1,2], trong đó sử dụng các vật liệu hấp phụ rẻ tiền, thân

<https://doi.org/10.51316/jca.2022.077>

thiện môi trường như tro trấu, zeolit, silica,... là hướng nghiên cứu được quan tâm [3,7].

Vỏ trấu là sản phẩm thừa của ngành nông nghiệp. Một số công trình đã nghiên cứu tái sử dụng vỏ trấu để chế tạo tro trấu và silica để làm vật liệu hấp phụ [7,9], phụ gia cho vật liệu composite [10,12], sơn [13] v.v. Một số nghiên cứu đã chỉ ra tro trấu có khả năng hấp phụ thuốc kháng sinh rất tốt [7,14,15], hiệu suất hấp phụ có thể lên tới 98,85 % và dung lượng hấp phụ đạt tới 17,74 mg/g [15].

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng tro trấu làm vật liệu hấp phụ một số thuốc kháng sinh, kháng viêm, mà được khuyến cáo sử dụng cho bệnh nhân Covid-19 điều trị tại nhà như Cefuroxim, Dexamethasone, Methylprednisolone, Prednisolon. Điều kiện hấp phụ tối ưu, khả năng hấp phụ và động học hấp phụ các thuốc bởi tro trấu được nghiên cứu và thảo luận.

Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

Nguyên vật liệu, hóa chất: Zincap 500 (Cefuroxime - $C_{16}H_{16}N_4O_8S$ - 500 mg, kí hiệu là ZC) do Chi nhánh công ty cổ phần Armephaco-Xí nghiệp dược phẩm 150- Việt Nam sản xuất; Dehatacil (Dexamethasone - $C_{22}H_{29}FO_5$ - 0,5 mg, kí hiệu là DH) do Công ty cổ phần Dược phẩm Hà Tây – Việt Nam sản xuất; Medrol (Methylprednisolone - $C_{22}H_{30}O_5$ - 16 mg, kí hiệu là MD) do Công ty Pharmacia Italia SPA-Ý sản xuất, Prednisolon (Prednisolon - $C_{21}H_{28}O_5$ - 5 mg, kí hiệu là PD) do Công ty cổ phần Dược TW MEDIPLANTEX – Việt Nam sản xuất. Vỏ trấu được thu thập từ chợ ở TP. Hải Phòng.

Tổng hợp tro trấu từ vỏ trấu: đầu tiên, vỏ trấu được đốt đến khi cháy đen bằng máy khò gas (khoảng $400^{\circ}C$ trong 1 giờ). Sau đó, tro trấu được khuấy với nước nóng trên máy khuấy từ trong 1 giờ. Lọc thu phần tro sạch. Phần tro sạch được sấy qua đêm trong tủ sấy đối lưu không khí ở $90^{\circ}C$. Tro trấu sau đó được nghiền bằng cối mã não để thu được dạng tro mịn. Diện tích bề mặt của tro trấu được xác định bằng thiết bị phân tích diện tích bề mặt và lỗ xốp TriStar II của hãng Micromeritics (Mỹ) tại Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (Viện HLKHCNVN). Phổ hồng ngoại (IR) của tro trấu được ghi trên thiết bị phổ hồng ngoại Nicolet iS10 của hãng Thermo Scientific (Mỹ) tại Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện HLKHCNVN. Hình thái cấu trúc của tro trấu được chụp trên thiết bị hiển vi điện tử quét (SEM) của hãng Joel (Nhật Bản) tại

Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện HLKHCNVN. Phân tích nhiễu xạ tia X (XRD) được thực hiện trên thiết bị Siemens D5000 (Đức) tại Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội. Thành phần nguyên tố của tro trấu được phân tích trên thiết bị SEM JMS-6510LV (Joel, Nhật Bản) kết nối với đầu dò tán xạ năng lượng tia X (EDX) của hãng Oxford (Mỹ) tại Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện HLKHCNVN. Phân bố kích thước hạt và thế zeta của tro trấu được xác định trên thiết bị Zetasizer SZ-100 (Horiba, Nhật Bản) tại Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện HLKHCNVN.

Xác định điểm đẳng điện của tro trấu: 0,1 g tro trấu được cân chính xác rồi cho vào bình nón 250ml có nút mài. Thêm 50 ml nước cất vào bình và hỗn hợp trong bình được khuấy trên máy khuấy từ với tốc độ 300 vòng/phút trong 1 giờ để tro trấu phân tán vào trong nước. Sau đó, điều chỉnh pH của dung dịch bằng HCl 0,1 M hoặc NaOH 0,1 M để pH hỗn hợp đạt 2, 4, 6, 8, 10, 12. Mỗi lần điều chỉnh pH thì sử dụng máy đo pH (Đức) đo pH của hỗn hợp ngay sau khi điều chỉnh và sau 48 giờ khuấy liên tục. Sau đó mới điều chỉnh sang pH khác [17,18].

Xây dựng đường chuẩn của thuốc Zincap: hòa tan 500 mg ZC vào nước cất trong bình định mức 1 L, thêm nước cất tới vạch ta được dung dịch chuẩn ZC nồng độ 500 mg/L. Sau đó, từ dung dịch chuẩn, pha loãng ra các nồng độ nhỏ hơn và đem dung dịch đi đo quang trên máy quang phổ hấp thụ tử ngoại – khả kiến (UV-VIS, S80 Libra, Biochrom, Anh) tại Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện HLKHCNVN.

Xây dựng đường chuẩn của thuốc Dehatacil: Hòa tan 0,5 mg DH vào nước cất trong bình định mức 100 mL, thêm nước cất tới vạch ta được dung dịch chuẩn DH nồng độ 5 mg/L. Từ dung dịch chuẩn, pha loãng ra các nồng độ nhỏ hơn và đem dung dịch đi đo quang trên máy quang phổ hấp thụ UV-VIS.

Xây dựng đường chuẩn Medrol: hòa tan 16 mg MD vào nước cất trong bình định mức 1 L, thêm nước cất tới vạch ta được dung dịch chuẩn MD nồng độ 16 mg/L. Từ dung dịch chuẩn, pha loãng ra các nồng độ nhỏ hơn và đem dung dịch đi đo quang trên máy quang phổ hấp thụ UV-VIS.

Xây dựng đường chuẩn Prednisolon: Hòa tan 5 mg prednisolon vào nước cất trong bình định mức 1 L, thêm nước cất tới vạch ta được dung dịch chuẩn PD nồng độ 5 mg/L. Từ dung dịch chuẩn, pha loãng ra các nồng độ nhỏ hơn và đem dung dịch đi đo quang trên máy quang phổ hấp thụ UV-VIS.

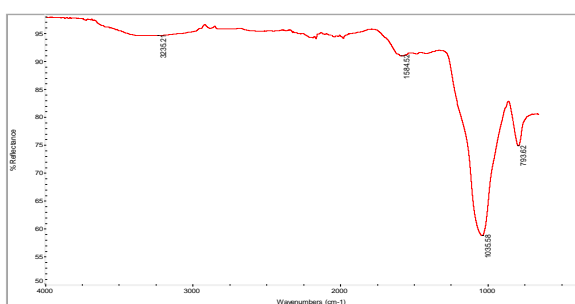
Nghiên cứu khả năng hấp phụ của tro trấu với 4 loại thuốc trên được thử nghiệm như sau: cân 0,2 g tro trấu cho vào bình nón, sau đó thêm 100 mL dung dịch thuốc đã pha sẵn (nồng độ thuốc được tính toán lại theo phương trình đường chuẩn). Tiến hành lắc bình liên tục trên máy lắc tròn HY-5 Manueuvre Style Vibrator (Trung Quốc) trong 120 phút ở nhiệt độ phòng [8,15-16,19]. Sau đó sử dụng giấy lọc, lọc thu phần dung dịch và đem dung dịch đi đo quang trên máy quang phổ hấp thụ UV-VIS. Dựa vào phương trình đường chuẩn, tính toán được nồng độ thuốc được hấp phụ.

Đối với mẫu khảo sát ảnh hưởng của pH dung dịch, pH được thay đổi từ 4-9, cố định thời gian hấp phụ 120 phút, hàm lượng tro trấu sử dụng là 2000 mg/L, nồng độ đầu của thuốc ZC là 7,3 mg/L. Đối với mẫu khảo sát ảnh hưởng của thời gian hấp phụ, cố định pH = 7, hàm lượng tro trấu sử dụng là 2000 mg/L, nồng độ đầu của thuốc ZC là 7,3 mg/L, thay đổi thời gian hấp phụ từ 30 – 180 phút. Đối với mẫu khảo sát ảnh hưởng của khối lượng tro trấu, cố định pH = 7, thời gian hấp phụ 150 phút, nồng độ đầu của thuốc ZC là 7,3 mg/L, thay đổi hàm lượng tro trấu sử dụng từ 500-4000 mg/L. Sau khi tìm được điều kiện thích hợp về thời gian hấp phụ, pH hấp phụ và hàm lượng tro trấu, đối với mẫu khảo sát ảnh hưởng của nồng độ thuốc ban đầu, cố định pH = 7, thời gian hấp phụ 150 phút, hàm lượng tro trấu sử dụng là 2000 mg/L, thay đổi nồng độ đầu của thuốc ZC là 5,0-12,5 mg/L.

Kết quả và thảo luận

Đặc trưng, tính chất của tro trấu

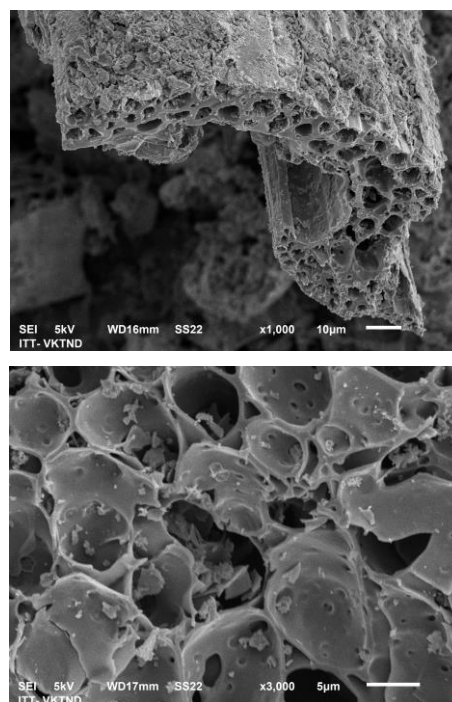
Phổ hồng ngoại của tro trấu được trình bày trên Hình 1.



Hình 1: Phổ IR của tro trấu

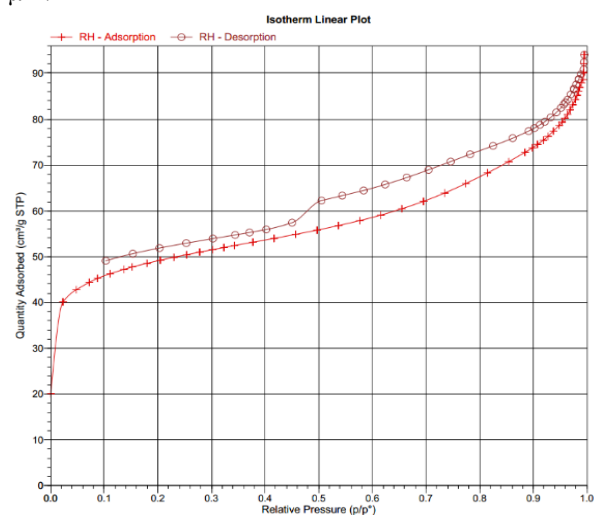
Từ Hình 1, có thể thấy thành phần chính của tro trấu là silica do pic dao động hóa trị bất đối xứng và đối xứng của liên kết Si-O-Si xuất hiện với cường độ mạnh ở 1035 cm^{-1} và 793 cm^{-1} [15]. Ngoài ra cũng quan sát được pic dao động đặc trưng cho dao động

hóa trị và dao động biến dạng của nhóm O-H trong Si-OH ở 3235 cm^{-1} và 1584 cm^{-1} [15].



Hình 2: Ảnh SEM của tro trấu

Quan sát Hình 2, có thể thấy mẫu tro trấu có cấu trúc dạng tấm xốp với kích thước lỗ xốp khoảng 5 μm .

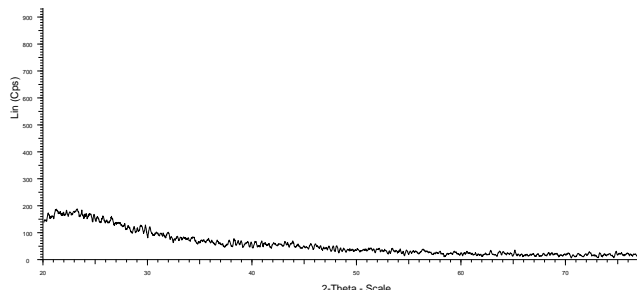


Hình 3: Đường hấp phụ - giải hấp phụ đẳng nhiệt nở của tro trấu

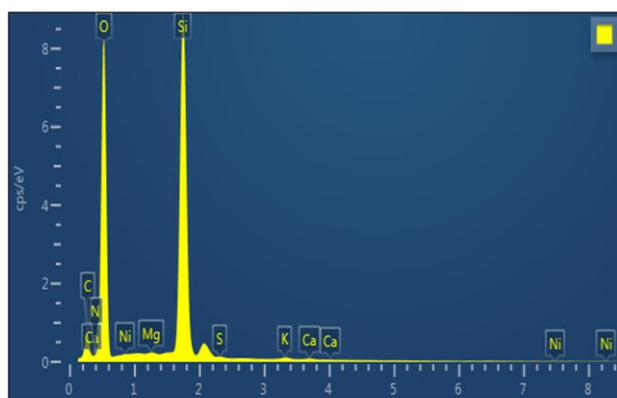
Kết quả trên Hình 3 cho thấy tro trấu thuộc dạng vật liệu có kích thước mao quản trung bình và có đường đẳng nhiệt hấp phụ kiểu IV theo IUPAC đặc trưng cho vật liệu hấp phụ kích thước mao quản trung bình. Diện tích bề mặt riêng theo BET của tro trấu là 159,797 m^2/g . Thể tích mao quản là 0,0955 cm^3/g và kích thước mao quản là 6,0138 nm. So với mẫu tro trấu của tác giả G. Kaur và cộng sự [15], mẫu tro trấu

<https://doi.org/10.51316/jca.2022.077>

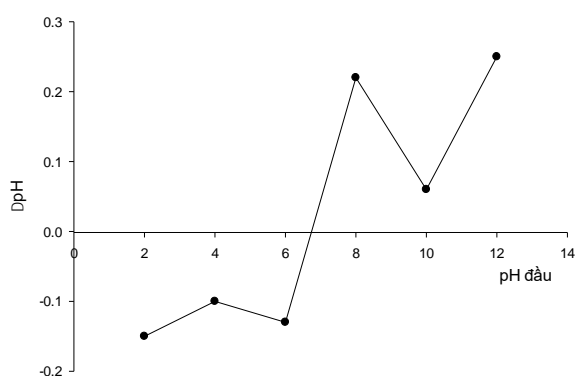
trong nghiên cứu này có diện tích bề mặt riêng lớn hơn ($159,797 \text{ m}^2/\text{g}$ so với $32,6 \text{ m}^2/\text{g}$), trong khi so với mẫu tro trấu biến tính MnSO_4 của tác giả Đặng Kim Tại và Vũ Xuân Hồng¹⁶, mẫu tro trấu trong nghiên cứu này có diện tích bề mặt riêng tương đương ($159,797 \text{ m}^2/\text{g}$ so với $152,412 \text{ m}^2/\text{g}$).



Hình 4: Giản đồ XRD của tro trấu



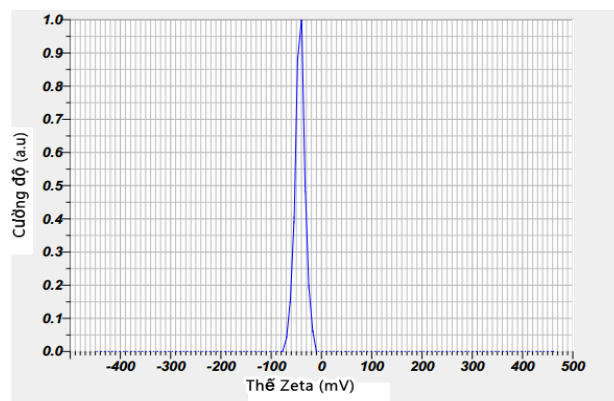
Hình 5: Phổ EDX của tro trấu



Hình 6: Điểm điện tích không của tro trấu

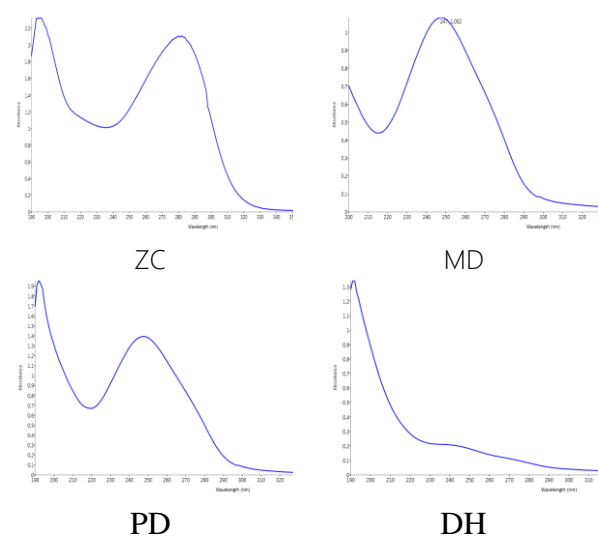
Hình 4 là giản đồ nhiễu xạ tia X (XRD) của tro trấu. Do không quan sát được pic nhiễu xạ trên giản đồ XRD của tro trấu nên có thể thấy tro trấu có cấu trúc vô định hình. Hình 5 cho thấy thành phần nguyên tố chính của tro trấu gồm Si (18,10%), C (18,13 %) và O (59,98 %), N (3,30 %). Ngoài ra, còn một số nguyên tố khác như Mg, Ca, S, Ni, K (hàm lượng đều nhỏ hơn 0,20 %). Điểm điện tích không (pH_{pzc}) của tro

trấu là 6,7 (Hình 6). Kích thước hạt trung bình của tro trấu là $3,8 \mu\text{m}$ và thế zeta là $-42,5 \text{ V}$ (Hình 7).



Hình 7: Thế Zeta của tro trấu

Khả năng hấp phụ thuốc của tro trấu



Hình 8: Phổ hấp thụ UV-Vis của thuốc

Kết quả phổ hấp thụ UV-Vis của các mẫu thuốc được trình bày trong Hình 8. Các mẫu thuốc đều xuất hiện pic hấp thụ UV trong khoảng 190-400 nm, vì vậy có thể dùng phương pháp UV-Vis để đánh giá khả năng hấp phụ thuốc của tro trấu trong nước. Bảng 1 thống kê bước sóng cực đại, phương trình đường chuẩn, và hệ số hồi quy tuyến tính của các mẫu thuốc trong nước cất. Các đường chuẩn đều có hệ số hồi quy tuyến tính khá cao, 0,9742-0,9986. Các giá trị này xấp xỉ 1 nên có thể sử dụng các phương trình đường chuẩn này để tính toán nồng độ thuốc bị hấp phụ.

Kết quả hấp phụ thuốc trong nước của các mẫu tro trấu ở $\text{pH} = 7$, thời gian hấp phụ 120 phút, khối lượng tro trấu sử dụng là 200 mg được thống kê trên Bảng 2. Nồng độ ban đầu của PD là 0,90 mg/L, MD là 0,83 mg/L, DH là 0,80 mg/L và ZC là 0,73 mg/L.

Các nồng độ này được xác định dựa trên độ tan bão hòa của thuốc trong nước cất.

Bảng 1: Phương trình đường chuẩn của thuốc trong nước

Thuốc	λ_{\max} (nm)	Phương trình đường chuẩn	R ²
PD	248	$y=3918,3x+0,0369$	9,986
MD	247	$y=2056,5x+0,0284$	9,811
DH	194	$y=649,77x+0,0871$	9,742
ZC	281	$y=9087,0x+0,2904$	9,798

Trong đó, hiệu suất hấp phụ (H) và dung lượng hấp phụ (q_e) được tính theo công thức sau ^{15,16}:

$$H (\%) = (C_0 - C_e) \cdot 100 / C_0 \quad (1)$$

$$q_e (\text{mg/g}) = (C_0 - C_e) \cdot V / m \quad (2)$$

Trong đó, C_0 và C_e là nồng độ ban đầu và nồng độ cân bằng của thuốc (mg/L), V là thể tích mẫu (mL) và m là khối lượng tro trấu (g).

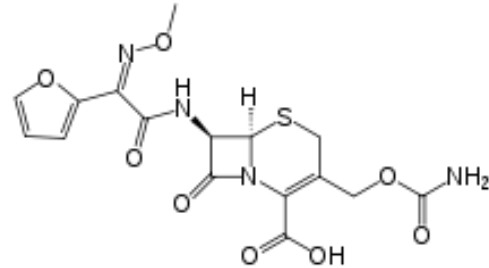
Bảng 2: Khả năng hấp phụ thuốc của tro trấu

TT	Thuốc	H (%)	q_e (mg/g)
1	PD	3,33	0,15
2	MD	42,17	1,75
3	DH	31,25	1,25
4	ZC	73,97	2,70

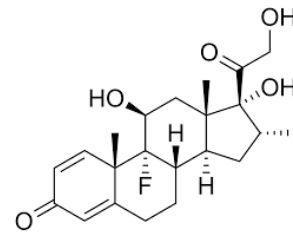
Kết quả ở Bảng 2 cho thấy tro trấu có khả năng hấp phụ thuốc ZC là tốt nhất trong 4 loại thuốc khảo sát. Sự hấp phụ thuốc ZC là tốt nhất trong 4 mẫu thuốc khảo sát có thể do (i) bề mặt tro trấu có điện tích âm (-42,5 V) nên ở giá trị pH hấp phụ (pH = 7) lớn hơn pH_{PZC} ($pH_{PZC} = 6,7$) thì bề mặt có thể hấp phụ cation ¹⁷⁻¹⁸ và (ii) trong cấu trúc hóa học của cefuroxime trong ZC có chứa các nhóm -COOH và nhóm amide (CONH) (các nhóm này dễ bị phân li thành cation trong môi trường nước) còn các thuốc PD, MD, DH chỉ có nhóm -COOH (Hình 9). Do đó, lựa chọn ZC để khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ thuốc của tro trấu gồm pH của dung dịch, thời gian hấp phụ, khối lượng tro trấu và nồng độ thuốc ban đầu. Các kết quả khảo sát được thống kê trên các Bảng 3-6.

Quan sát kết quả ở Bảng 3 có thể thấy tro trấu có khả năng hấp phụ thuốc ZC tốt hơn trong môi trường pH trung tính hoặc gần trung tính. Khi pH của dung dịch bằng 7, hiệu suất hấp phụ và dung lượng

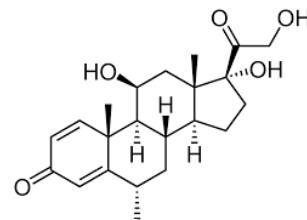
hấp phụ thuốc ZC của tro trấu là cao nhất. Điều này có thể do trong cấu trúc của dược chất cefuroxime trong thuốc Zincap có các nhóm chức COOH và amide làm cho dược chất này dễ phân li thành cation nên được hấp phụ tốt bởi tro trấu như trình bày ở trên.



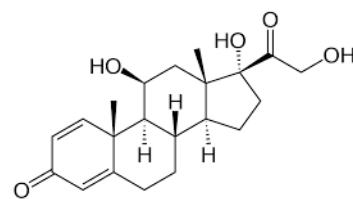
(a)



(b)



(c)



(d)

Hình 9: Cấu trúc hóa học của cefuroxime (a), dexamethason (b), methylprednisolone (c) và prednisolon (d)

Tuy nhiên, ở các pH lớn hơn 7, các nhóm chức này có thể phản ứng với OH⁻ trong môi trường, làm giảm hiệu suất và dung lượng hấp phụ của tro trấu. Do đó, lựa chọn pH 7 cho các nghiên cứu tiếp theo.

Bảng 3: Ảnh hưởng của pH dung dịch đến khả năng hấp phụ thuốc ZC của tro trấu

TT	pH	H (%)	q _e (mg/g)
1	3	38,36	1,40
2	4	52,05	1,90
3	5	49,32	1,80
4	6	65,75	2,40
5	7	73,97	2,70
6	8	58,90	2,15
7	9	45,21	1,65

Bảng 4: Ảnh hưởng của thời gian hấp phụ đến khả năng hấp phụ thuốc ZC của tro trấu

TT	Thời gian hấp phụ (phút)	H (%)	q _e (mg/g)
1	30	26,03	0,95
2	60	43,84	1,60
3	90	73,97	2,70
4	120	73,97	2,70
5	150	79,45	2,90
6	180	49,32	1,80

Từ kết quả ở Bảng 4 và Bảng 5, lựa chọn thời gian hấp phụ tối ưu là 150 phút, khối lượng tro trấu tối ưu là 300 mg.

Bảng 5: Ảnh hưởng của khối lượng tro trấu đến khả năng hấp phụ thuốc ZC của tro trấu

TT	Khối lượng tro trấu (mg)	H (%)	q _e (mg/g)
1	50	60,27	8,80
2	100	72,60	5,30
3	200	79,45	2,90
4	300	80,82	1,97
5	400	80,82	1,48

Kết quả trên bảng 6 cho thấy nồng độ đầu của thuốc ZC có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng hấp phụ thuốc của tro trấu. Ở nồng độ thuốc thấp, hiệu suất hấp phụ và dung lượng hấp phụ của tro trấu cao hơn so với khi hấp phụ ở nồng độ thuốc cao. Có thể thấy so sánh với các nghiên cứu sử dụng tro trấu để hấp phụ thuốc kháng sinh ofloxacin⁷ (khối lượng tro trấu 7,94 g/L, thời gian hấp phụ 430 phút, pH = 6, hiệu suất hấp phụ = 79,71 %, dung lượng hấp phụ = 6,28 mg/g); thuốc kháng sinh sulfamethazine⁸ (khối lượng tro trấu 2,5 g/L, thời gian hấp phụ 150 phút,

pH = 7, hiệu suất hấp phụ = 100%, dung lượng hấp phụ = 11,78 mg/g); và thuốc kháng sinh doxycycline¹⁵ (khối lượng tro trấu 5 g/L, thời gian hấp phụ 85,85 phút, pH = 6, hiệu suất hấp phụ = 98,85 %, dung lượng hấp phụ = 17,74 mg/g), tro trấu trong nghiên cứu này có khả năng hấp phụ thuốc Zincap khá tốt.

Bảng 6: Ảnh hưởng của nồng độ đầu của thuốc đến khả năng hấp phụ thuốc ZC của tro trấu

TT	Nồng độ đầu (mg/L)	H (%)	q _e (mg/g)
1	12,5	64,00	2,67
2	7,3	79,45	1,93
3	6,6	84,85	1,87
4	5,0	86,00	1,43

Kết luận

Trong nghiên cứu này, tro trấu đã được chế tạo thành công và sử dụng để hấp phụ một số thuốc được khuyến nghị sử dụng cho bệnh nhân điều trị bệnh Covid-19 tại nhà. Tro trấu có cấu trúc xốp, có diện tích bề mặt riêng 179,797 m²/g với thành phần chính là SiO₂. Tro trấu có cấu trúc vô định hình, kích thước hạt trung bình là 3,8 μm, điện tích bề mặt là -42,5 V. Trong các thuốc khảo sát, tro trấu có khả năng hấp phụ thuốc Zincap tốt nhất. Điều kiện thích hợp để hấp phụ thuốc Zincap bằng tro trấu là pH dung dịch = 7, thời gian hấp phụ 150 phút, khối lượng tro trấu 0,3 g và nồng độ thuốc ban đầu 5,0 mg/L. Ở điều kiện này, hiệu suất hấp phụ thuốc đạt 86,00 % và dung lượng hấp phụ đạt 1,43 mg/g.

Tài liệu tham khảo

1. L. Can, T. Li, Z. Liming, T. Weiqian, M. Lanqing, *Front. Environ. Sci.* 9 (2021) 692298. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.692298>
2. J. Dutta, A. A. Mala, *Water Sci. Technol.* 82 (3) (2020) 401-426. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.335>
3. A. Grela, J. Kuc, and T. Bajda, *Materials (Basel)* 14(17) (2021) 4994. doi: 10.3390/ma14174994
4. I. Braschi, S. Blasioli, E. Buscaroli, D. Montecchio, A. Martucci, *J. Environ. Sci. (China)* 43 (2016) 302-312. <https://10.1016/j.jes.2015.07.017>
5. S. Blasioli, A. Martucci, G. Paul, L. Gigli, M. Cossi, C. T. Johnston, L. Marchese, I. Braschi, *J. Colloid. Interface. Sci.* 419 (2014) 148-159.

<https://doi.org/10.51316/jca.2022.077>

- <https://10.1016/j.jcis.2013.12.039>
6. N. Jiang, R. Shang, G. J. H. Sebastiaan, L. C. Rietveld, *Water Res.* 144 (2018) 145-161. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.017>
 7. G. Kaur, N. Singh, A. Rajor, *J. Contam. Hydrol.* 236 (2021) 103737. <https://10.1016/j.jconhyd.2020.103737>
 8. D. Balarak, F. Bandani, Z. Shehu, N. J. Ahmed, *J. Pharm. Res. Int.* (2020) 84-92. <https://10.9734/jpri/2020/v32i830475>
 9. N. V. Hùng, N. N. Bích, N. H. Nghi, T. H. Bằng, Đ. T. T. Lê, *Tạp chí Hóa học* 53(4) (2015) 491-496.
 10. J. Suwanprateeb, K. Hatthapanit, *J. Appl. Polym. Sci.* 86 (2002) 3013–3020.
 11. S. S. Alias, Z. Harun, N. Manoh, M. R. Jamalludin, *Polym. Bull.* 77 (2020) 4043–4075. <https://doi.org/10.1007/s00289-019-02950-5>
 12. V. C. Sethuramalingama, S. Prabagarana, K. Ganesan, *Mater. Today: Proc.* 37 (2) (2021) 2207-2213.
 13. N. T. Mai, L. T. Hoan, H. T. H. Thủy, V. T. Hiếu, Đ. T. M. Linh, N. T. Vương, *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải* 71 (9) (2020) 1027-1038. <https://doi.org/10.47869/tcsj.71.9.2>
 14. C. Yajun, W. Fenghe, D. Lunchao, Y. Hao, G. Jay, *J. Mol. Liq.* 222 (2016) 487-494. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.07.090>
 15. G. Kaur, N. Singh, A. Rajor, R. K. Arya, *Environ. Sci. Pollut. Res.* (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18961-1>
 16. Đ. K. Tại, V. X. Hồng, *Tạp Chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam (Bản B)* 62 (1) (2021) 66-69.
 17. A. S. Yusuff, *Arab Journal of Basic and Applied Sciences* 26 (1) (2019) 89–102. <https://doi.org/10.1080/25765299.2019.1567656>.
 18. M. N. Khan and A. Sarwar, *Surface Review and Letters* 14, (3) (2007) 461–469.
 19. F. A. Adekola, D. S. S. Hodonou, H. I. Adegoke, *Appl Water Sci* 6 (2016) 319–330. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0227-1>.