

KHẢ NĂNG KHÁNG KHUẨN CỦA NANO SILICON DIOXIDE ĐƯỢC TỔNG HỢP TỪ VỎ TRÁU

Đến tòa soạn: 21-05-2025

Nguyễn Giang Nam^{1,2}, Nguyễn Thị Ngọc Trinh³, Nguyễn Thanh Bình⁴,
Nguyễn Mậu Thành^{5*}

¹Sở Giáo dục và Đào tạo Quảng Bình

²Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

³Trường THPT Cao Bá Quát, huyện Núi Thành, tỉnh Quảng Nam

⁴Viện Nghiên cứu Hạt nhân

⁵Trường Đại học Quảng Bình

*Email: thanhnm@quangbinhuni.edu.vn

SUMMARY

THE ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF NANO SILICON DIOXIDE SYNTHESIZED FROM RICE HUSK

Bacterial contamination and growth in the environment are potential health hazards demanding disinfection. The rapid growth of nanotechnology is a possible approach to reduce the microbial contamination on food surfaces and in food preparation environments. In this paper, the antibacterial potential of silicon dioxide (SiO₂ NPs) nanoparticles synthesized from a renewable resource rice husk was investigated. The morphology, crystallinity, and bonding in the synthesized nanoparticles were analyzed by scanning electron microscopy (SEM), energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX), and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), respectively. Nitrogen adsorption-desorption was used to determine the surface area (Brunauer-Emmett-Teller (BET)), porosity, and capillary distribution of the materials. In vitro assays quantified the growth inhibition of various target bacterial strains upon exposure to different concentrations of the SiO₂ nanoparticles. The findings demonstrated that SiO₂ nanoparticles exhibited notable antibacterial properties, suggesting potential applications in diverse fields such as medicine, food preservation, and water purification, while simultaneously contributing to the valorization of agricultural waste.

Keywords: Rice husk, nano silicon dioxide, antimicrobial activity, bacteria

1. MỞ ĐẦU

Nhiễm khuẩn đang là nguyên nhân hàng đầu gây nhiễm trùng và lây truyền qua máu. Do khả năng kháng thuốc của các chủng tác nhân gây nhiễm trùng (kháng kháng sinh) liên tục gia tăng, nên một trong những nhiệm vụ chính hiện nay trong y sinh học là tìm kiếm các phương pháp mới để chống lại vi sinh vật gây nhiễm trùng [1]. Một trong những phương

pháp phổ biến để chống lại vi khuẩn là sử dụng nhiều chất khử trùng hữu cơ khác nhau (polyme, lớp phủ hữu cơ, tinh dầu, peroxyacetic acid, lactic acid). Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là ô nhiễm thứ cấp và xuất hiện tình trạng kháng thuốc của mầm bệnh đối với chất khử trùng [2]. Do đó, cần phải phát triển các phương pháp và công nghệ mới để khử trùng bề mặt mà không dẫn đến tình trạng kháng thuốc. Và phải tuân thủ các

yêu cầu an toàn cơ bản là không gây tác động tiêu cực đến môi trường.

Trong những thập kỷ gần đây, vật liệu nano đã chứng tỏ tiềm năng to lớn trong việc cung cấp các giải pháp bền vững và hiệu quả cho nhiều vấn đề trên toàn cầu. Nó phát triển nhanh chóng và có tác động đáng kể đến xã hội, nền kinh tế và môi trường với nhiều ngành khác nhau như khoa học sự sống, sản xuất công nghiệp, điện tử, ứng dụng y sinh, nông nghiệp và năng lượng tái tạo [3]. Diện tích bề mặt riêng lớn là một đặc trưng quan trọng của vật liệu nano, xuất phát từ kích thước hạt siêu nhỏ của chúng (đường kính từ 1 - 100 nm). Đặc điểm này mang lại nhiều lợi ích và cải tiến đáng kể trong các ứng dụng thực tế [4]. Nano silicon dioxide (NPs SiO₂) có các tính chất hóa học và vật lý điển hình như diện tích bề mặt lớn, cách điện tốt, khả năng tương thích sinh học mạnh và độc tính thấp, khiến chúng trở nên hấp dẫn trong nhiều ứng dụng [5]. Bên cạnh đó, NPs SiO₂ là chất mang nano mạnh với khả năng phân phối thuốc đã được chứng minh. Do các nhóm silanol (Si-OH) tự do của chúng, cho phép biến đổi và bản chất xốp cho phép tải thuốc cao hơn, nên NPs SiO₂ cung cấp một giải pháp thay thế khả thi cho việc điều trị nhiễm trùng [6]. Ngoài ra, độ nhám của các hạt nano này có thể ảnh hưởng đáng kể đến các đặc tính kháng khuẩn của chúng, khi độ nhám lớn hơn thì tương quan với hiệu quả kháng khuẩn tăng lên [7]. Mặt khác, trấu (RH) là một chất thải chính trong nông nghiệp mà có thể được sử dụng làm nhiên liệu. Các đặc tính của đất hay biến số nông nghiệp khi sử dụng làm ảnh hưởng đến thành phần hóa học của RH, bao gồm lignin, hemicellulose, cellulose và khoáng chất [8]. Tro trấu (RHA), một phụ phẩm giàu silicon dioxide (> 60% SiO₂), carbon (10–40%) và khoáng chất, là nguồn tài nguyên dồi dào, chi phí thấp và bền vững nên thu hút

sự quan tâm nghiên cứu [9]. Vì vậy, trong bài báo này chúng tôi đề cập đến các kết quả nghiên cứu khả năng kháng một số vi khuẩn của nano silicon dioxide được tổng hợp từ vỏ trấu.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Hóa chất và thiết bị

Các hóa chất sử dụng trong nghiên cứu là các hóa chất tinh khiết được mua từ Hãng Merck, Đức gồm: Nitric acid (HNO₃), zinc nitrate hexahydrate (Zn(NO₃)₂·6H₂O), dimethyl sulfoxide ((CH₃)₂SO (DMSO)). Còn hydrochloric acid (HCl), ethylene diamine (C₂H₄(NH₂)₂), ethanol (C₂H₅OH) được mua từ Hãng Guangzhou, Trung Quốc. Nước cất hai lần (cất trên thiết bị cất nước Fistream Cyclon, England) được sử dụng để pha chế hóa chất và tráng, rửa các dụng cụ thủy tinh. Cốc thủy tinh chịu nhiệt 100 mL, 200 mL, 500 mL, micropipet các loại, cốc niken có nắp, cân phân tích, máy khuấy từ gia nhiệt, máy lắc, cối chày mã não, lò nung, tủ sấy, bình thủy nhiệt (bộ Autoclave).

Nghiên cứu vật liệu tổng hợp được bằng các phương pháp vật lý hiện đại như: Hình thái sản phẩm quan sát bằng quét kính hiển vi điện tử (SEM) và thành phần nguyên tố được thực hiện trên SEM-JEOL-JSM 5410 LV (Nhật) ở 10 kV. Vật liệu được nhận dạng bởi phổ hồng ngoại và ghi trên máy IR-Prestige-21(Shimadzu) trong khoảng 400 đến 4500 cm⁻¹. Bên cạnh đó, diện tích bề mặt riêng được xác định bằng đường đẳng nhiệt hấp phụ-giải hấp nitơ sử dụng Micromeritics Tristar 3000, nơi các mẫu trước đó đã được khử khí ở 120 °C trong 12 giờ.

2.2. Tổng hợp nano silicon dioxide từ vỏ trấu bằng phương pháp thủy nhiệt

Bước 1: Vỏ trấu (RH) sau khi đã được rửa sạch, sấy khô đem ngâm với dung dịch

HNO₃ 1M trong 24 giờ để loại bỏ các kim loại nặng. Vỏ trấu sau khi ngâm HNO₃ được rửa sạch nhiều lần bằng nước cất, sấy khô hoàn toàn ở nhiệt độ 70 °C và bảo quản trong bình hút ẩm.

Bước 2: Cho vỏ trấu sau khi xử lý ở bước một vào cốc sứ chịu nhiệt, rồi đưa vào lò nung và duy trì nhiệt độ ở 700 °C trong 3 giờ, sau đó để nguội tự nhiên thì thu được tro trấu (RHA). Lấy RHA nghiền mịn thành bột, cân 2 g rồi trộn đều với 10 g Zn(NO₃)₂·6H₂O, tiếp tục nghiền kỹ sau đó đem nung ở 400 °C trong 4 giờ để thu được hỗn hợp bột (RHA/ZnO).

Bước 3: Cho 4 g bột RHA/ZnO vào bình teflon 250 mL rồi thêm 65 mL nước cất hai lần và 105 mL dung dịch ethylene diamine. Thủy phân hỗn hợp trên bằng cách cho bộ Autoclave có chứa dung dịch trên vào tủ sấy. Tiến hành gia nhiệt ở nhiệt độ là 170 °C với thời gian 8 giờ, rồi để nguội tự nhiên ở nhiệt độ phòng.

Bước 4: Dung dịch thu được đem ly tâm và rửa sạch bằng nước cất nhiều lần rồi cho vào cốc thủy tinh chứa 200 mL dung dịch HCl 4M, và khuấy trên máy khuấy từ trong 2 giờ. Tiếp theo gạn lấy kết tủa rồi rửa qua bằng ethanol 99,5 %, rồi nước cất nhiều lần đến pH ≈ 7. Cuối cùng sản phẩm được sấy khô ở 70 °C trong vòng 12 giờ, nghiền mịn ta được các hạt nano SiO₂ màu trắng sữa [10], [11].

2.3. Thí nghiệm kháng khuẩn

Nuôi cấy và hoạt hóa vi khuẩn: Vi khuẩn Gram âm là *Escherichia coli* ATCC 25922 (*E. coli*), *Enterobacter* và *Pseudomonas aeruginosa* (*Ps aeruginosa*) xuất xứ từ bộ sưu tập chủng giống Hoa Kỳ và được cung cấp từ phòng thí nghiệm Viện Công nghệ Sinh học và Môi trường, Trường Đại học Tây Nguyên. Vi khuẩn được nuôi cấy hoạt hóa trong môi trường lỏng Brain Heart Infusion (BHI), ủ ở 37 °C (tủ ấm) trong vòng 24 giờ để dung dịch

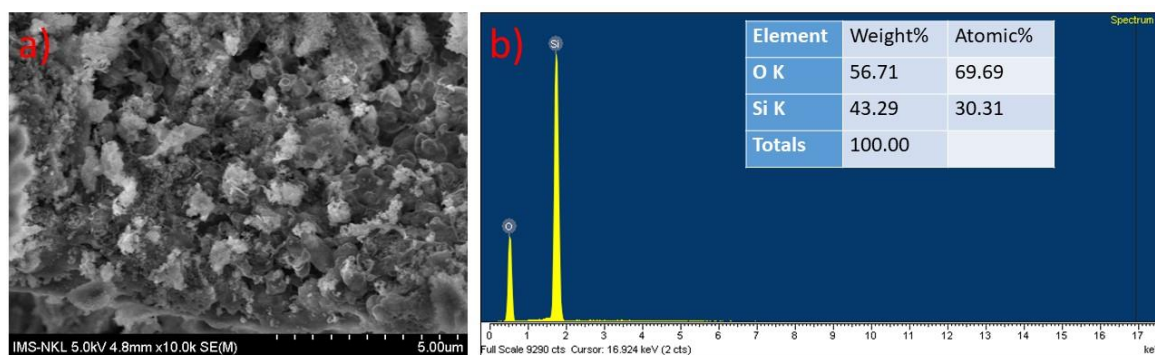
trong ống nghiệm có độ đục bằng độ đục Mc Farland 0,5 (giá trị OD tại bước sóng 600 nm trong khoảng 0,08-0,1), tương đương với nồng độ 1-1,5×10⁸ vi khuẩn/mL. Pha loãng 100 lần để được mẫu có nồng độ 1-1,5×10⁶ vi khuẩn/mL cho các thử nghiệm. Mẫu vi khuẩn phải được sử dụng ngay trong vòng 15 phút sau khi pha loãng.

Xác định hoạt tính kháng khuẩn trong môi trường đặc: Hoạt tính kháng khuẩn trong môi trường đặc được thực hiện bằng phương pháp khuếch tán trên đĩa thạch - Kirby-Bauer cải tiến [12]. Vi khuẩn thử nghiệm được trải trên thạch MHA. Đục 4 giếng, cho vào mỗi giếng 50 µL dung dịch: giếng a là chứng dương (kháng sinh), giếng d: chứng âm (không nhỏ dịch nano) còn giếng b và c thì nhỏ dung dịch nano ở các nồng độ khác nhau (mẫu nano được pha loãng trong DMSO). Ủ mẫu ở 37 °C, quan sát đường kính vòng vô khuẩn (không có vi khuẩn mọc) sau 24 giờ. Đo bằng thước điện tử và ghi lại D: đường kính vòng kháng khuẩn ngoài. Sau thời gian ủ đường kính kháng khuẩn (L_n = D_n - d, (mm)) được xác định bằng hiệu đường kính vòng kháng ngoài (D, mn) và đường kính đĩa giấy (d = 6 mm) khi L_n = D_n - d > 0 thì vật liệu được xem là có tính kháng khuẩn. Kết quả ghi nhận D là trung bình của 3 lần đo lặp lại (n=3) trên cùng một đơn vị thí nghiệm.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc trưng các vật liệu bằng ảnh SEM và EDX

Để quan sát được hình thái học bề mặt của vật liệu, chúng tôi tiến hành khảo sát vật liệu nano silica qua ảnh hiển vi điện tử quét SEM với độ phóng đại 10.0k ở được thể hiện trên Hình 1a. Bên cạnh đó, phương pháp EDX được sử dụng để phân tích nguyên tố và độ tinh khiết của mẫu NPs SiO₂, các đỉnh thu được đã thể hiện trong Hình 1b.



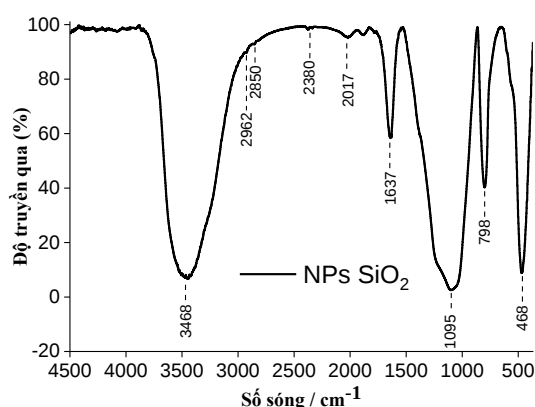
Hình 1. Ảnh SEM (a) và EDX (b) của vật liệu NPs SiO₂

Từ Hình 1a cho thấy các hạt nano silicon dioxide được hình thành bởi sự hiện diện của các khối kết tụ lại như bông, mỗi hạt có chiều dài, chiều rộng và chiều cao khác nhau, phân bố trong cấu trúc xốp. Hiệu ứng kết tụ có thể là do sự thống trị của các lực liên kết mạnh trong phân tử thay vì lực hấp dẫn. Do đó, trong quá trình tổng hợp thời gian cũng có thể làm ảnh hưởng đến kích thước, hình dạng và cấu trúc của vật liệu [13]. Mặt khác, không tìm thấy đỉnh nào khác trong nghiên cứu EDX ở Hình 1b điều này biểu thị mẫu NPs SiO₂ tổng hợp được không có lẫn tạp chất, mà chỉ có silicon (30,31%) và oxygen (69,69%). Thông thường, silicon dioxide có nguồn gốc từ sinh học có thể chứa nhiều tạp chất như CaO, K, MgO, MnO, Fe₂O₃, Na, v.v. và các loại carbon. Các tạp chất như muối dư, hay các nguyên tố có độ hòa tan thấp và các loại carbon có thể được loại bỏ bằng các quy trình xử lý trước và sau như rửa qua acid loãng [14]. Trong nghiên cứu này, chúng tôi xử lý trấu trước bằng dung dịch HNO₃ 1M và sau đó xử lý lại tro trấu bằng HCl 4M nên có thể cung cấp các hạt NPs SiO₂ có độ tinh khiết cao và có màu trắng hoàn toàn.

3.2. Đặc trưng vật liệu bằng phương pháp FT-IR

Phương pháp phổ hồng ngoại (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) là một kỹ thuật thường được dùng để phân tích định tính sự có mặt của các liên

kết hữu cơ và vô cơ trong mẫu vật liệu. Phân tích phổ hồng ngoại cho ta xác định được vị trí của các vân phổ, cường độ và hình dạng của vân phổ. Kết quả phân tích nano silicon dioxide bằng FT-IR được thể hiện trên Hình 2.



Hình 2. Phổ FT-IR của vật liệu NPs SiO₂

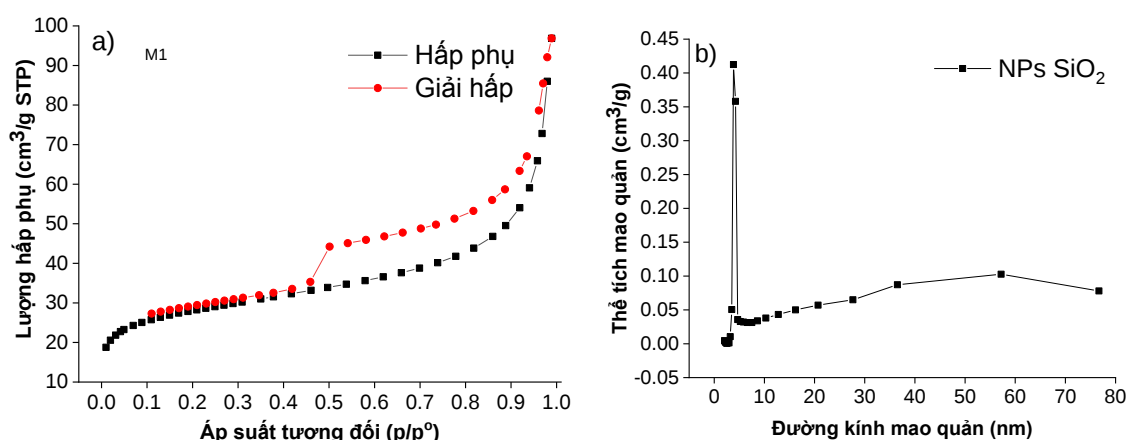
Hình 2 cho thấy, các đỉnh chỉ ra các nhóm chức đặc trưng cho các liên kết hóa học khác nhau có trong hạt NPs SiO₂ tổng hợp được. Cụ thể có bảy đỉnh hấp thụ chính trong phạm vi 3468 cm⁻¹, 2962 cm⁻¹, 2850 cm⁻¹, 2380 cm⁻¹, 2017 cm⁻¹, 1637 cm⁻¹, 1095 cm⁻¹, 798 cm⁻¹ và 468 cm⁻¹ tương ứng với các các chế độ dao động sau: Đỉnh rộng ở 3448 cm⁻¹ và đỉnh ở 1637 cm⁻¹ được gán cho dao động uốn cong và kéo dài của nhóm hydroxyl liên kết với phân tử nước (H-O-H ...-OH), đây là sự hấp phụ nước trên bề mặt của các hạt nano silicon dioxide [15] (O-Si-O....H-O-H). Và đỉnh hấp thụ ở 2380 cm⁻¹ và 2017

cm^{-1} là do có sự kéo giãn các liên kết (Si-C-Si) [16]. Còn các đỉnh tại 2962 và 2850 cm^{-1} , chỉ ra rằng có sự biến đổi hữu cơ của bề mặt hạt nano và hạt NPs SiO_2 thu được ở trạng thái vô định hình. Hơn nữa, các đỉnh tại 1095 và 798 cm^{-1} là do các liên kết giao động kéo dài không đối xứng và đối xứng của Si-O-Si. Còn lại đỉnh hấp phụ ở 468 cm^{-1} là do sự biến dạng liên kết Si-O ra khỏi mặt phẳng [17]. Như vậy, có thể nói rằng việc tổng hợp nano NPs SiO_2 từ vỏ trấu có sản phẩm hoàn toàn tương đồng với các nghiên cứu đã được công bố trước đây. Do đó, phép đo này cũng phù

hợp để xác nhận cấu trúc với sự hình thành vật liệu nano silicon dioxide.

3.3. Đặc trưng bằng phương pháp đẳng nhiệt hấp phụ - giải hấp BET

Diện tích bề mặt Brunauer – Emmett – Teller (BET), độ xốp của các hạt NPs SiO_2 được nghiên cứu bằng cách sử dụng đường đẳng nhiệt hấp phụ / giải hấp N_2 và đường cong phân bố kích thước lỗ rỗng mao quản theo Barrett-Joyner-Halenda (BJH) cũng được thể hiện lần lượt trong Hình 3a và 3b.



Hình 3. Giản đồ hấp phụ - giải hấp N_2 (a) và phân bố mao quản (b) của NPs SiO_2

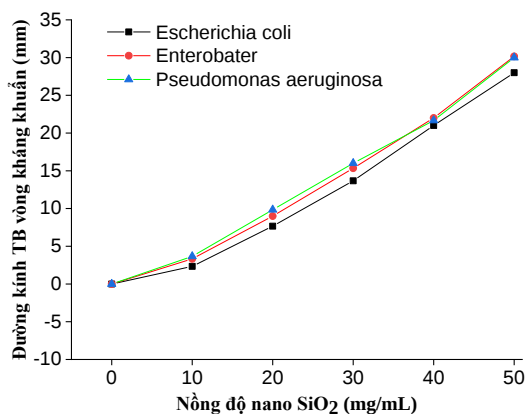
Từ đường đẳng nhiệt hấp phụ/giải hấp nitrogen của nano silicon dioxide ở Hình 3a, có thể thấy đây là đường cong đẳng nhiệt thuộc loại IV (a) và vòng trễ thuộc loại H2 theo phân loại IUPAC [18]. Trong vùng áp suất tương đối dưới 0,5 thì lượng hấp phụ NPs SiO_2 tăng chậm khi áp suất tương đối tăng. Mặt khác, khi áp suất tương đối từ 0,5 đến 0,95 thì các đường đẳng nhiệt hấp phụ-giải hấp có các vòng trễ rõ ràng. Dựa trên mối quan hệ giữa vòng trễ và hình dạng lỗ, có thể suy ra rằng NPs SiO_2 chứa đầy các lỗ xốp hình trụ [19]. Ngoài ra, diện tích bề mặt BET và thể tích lỗ rỗng của NPs SiO_2 được đo lần lượt là 93,97 m^2/g và 0,063 cm^3/g , cao hơn so với nano SiO_2 có nguồn gốc từ rơm rạ là 84,45 m^2/g [20] hay từ tro lá tre

là 20,98 m^2/g [21]. Bên cạnh đó, từ Hình 3b cho thấy vật liệu có cấu trúc mao quản trung bình, phân bố hẹp, chủ yếu trong phạm vi từ 2,1 đến 27,6 nm và có đường kính trung bình là 13,12 nm, hơn nữa xuất hiện vùng mao quản lớn có đỉnh pic ở 3,8 nm. Kết quả này có thể gợi ý rằng các hạt NPs SiO_2 có diện tích bề mặt và độ xốp riêng biệt nên có chế độ hoạt động kháng khuẩn khác nhau.

3.4. Khả năng kháng khuẩn một số vi khuẩn của nano silicon dioxide

Tác dụng kháng khuẩn của nano silicon dioxide sau khi tổng hợp được từ vỏ trấu đã được thử nghiệm đối với các vi khuẩn Gram âm là *Escherichia coli* ATCC 25922 (*E. coli*), *Enterobacter* và

Pseudomonas aeruginosa (*Ps aeruginosa*). Chúng tôi đã thực hiện theo các bước thí nghiệm như ở mục 2.3. ở các nồng độ khác nhau là 10, 20, 30, 40 và 50 mg/mL. Kết quả ảnh hưởng của nồng độ NPs SiO₂ qua đường kính vòng kháng khuẩn trung bình (TB) được thể hiện ở Hình 4.



Hình 4. Đường kính trung bình vòng kháng khuẩn của NPs SiO₂ ở các nồng độ khác nhau

Từ Hình 4 cho thấy, khi nồng độ nano SiO₂ tăng lên, đường kính trung bình của vòng kháng khuẩn đối với cả ba loại vi khuẩn cũng tăng lên. Điều này cho thấy NPs SiO₂ có khả năng ức chế sự phát triển của vi khuẩn và hiệu quả ức chế này phụ thuộc vào nồng độ. Xu hướng rõ ràng là khi nồng độ NPs SiO₂ càng cao (từ 10 đến 50 mg/mL), thì vùng ức chế vi khuẩn càng lớn, nên khả năng kháng khuẩn mạnh mẽ hơn. Bên cạnh đó, khi các nồng độ NPs SiO₂ khác nhau thì khuẩn *Ps aeruginosa* có xu hướng tạo ra vòng kháng khuẩn lớn hơn so với *E. coli* và *Enterobacter*. Điều này cho thấy, trong điều kiện thí nghiệm này thì khuẩn *Ps aeruginosa* nhạy cảm hơn với tác động của NPs SiO₂. Chúng tôi cho rằng, vi khuẩn *Ps aeruginosa* có lớp bề dày màng tế bào mỏng hơn so với vi khuẩn *E. coli* và *Enterobacter*, do vậy hạt NPs SiO₂ tấn công vào lớp thành tế bào của vi khuẩn *E. coli* và *Enterobacter* chậm hơn so với vi khuẩn *Ps aeruginosa* [22]. Mặt khác, đường kính vòng kháng khuẩn của *E. coli*

và *Enterobacter* khá gần nhau ở các nồng độ NPs SiO₂ khác nhau, cho thấy mức độ nhạy cảm với NPs SiO₂ trong thí nghiệm này là tương đương nhau. Do đó, hoạt tính kháng khuẩn của hạt NPs SiO₂ đối với vi khuẩn *E. coli* và *Enterobacter* là thấp hơn so với vi khuẩn *Ps aeruginosa*. Nhìn chung một cơ chế diệt khuẩn được chấp nhận rộng rãi đối với *E. coli*, *Enterobacter*, và *Ps aeruginosa* là sự tương tác trực tiếp của hạt NPs SiO₂ với màng tế bào vi khuẩn, dẫn đến phá vỡ cấu trúc và gây chết tế bào. Theo đó, các hạt nano có kích thước nhỏ hơn sẽ có tỷ lệ diện tích bề mặt trên thể tích lớn hơn, tạo điều kiện thuận lợi cho sự bám dính và tương tác với màng tế bào vi khuẩn, từ đó gia tăng hiệu quả ức chế [23]. Nên các hạt NPs SiO₂ sẽ tương tác với màng tế bào vi sinh vật, làm gián đoạn quá trình sao chép DNA và phân chia tế bào, khiến diện tích bề mặt tế bào vi khuẩn được mở rộng và bị tiêu diệt, điều này cũng phù hợp với A. Alhadhrami và cộng sự đã công bố trước đây về khả năng kháng khuẩn của NPs SiO₂ nhưng tổng hợp bằng phương pháp sol-gel [24]. Nồng độ ức chế tối thiểu (Minimum Inhibitory Concentration-MIC) được xác định theo phương pháp pha loãng trong ống nghiệm [25]. Đó là, cho vào các ống nghiệm (giống nhau về kích thước, thể tích) mẫu thử (mẫu nano), mẫu đối chiếu (Gentamicin) với nồng độ giảm dần từ ống 1 đến ống 5 tương ứng là: 150, 125, 100, 75 và 50 mg/L. Rồi thêm tiếp 200 μ L vi khuẩn thử nghiệm trên vào mỗi ống. Ủ ở 37 °C. Sau 24 giờ quan sát độ đục của các ống. Giá trị MIC được xác định là nồng độ thấp nhất ức chế sự phát triển của vi khuẩn (dung dịch bên trong ống không bị đục), kết quả được thể hiện ở Bảng 1.

Từ Bảng 1 cho thấy, nồng độ MIC sự khác biệt về độ nhạy cảm của từng loại vi khuẩn đối với NPs SiO₂. *Ps aeruginosa*, đây là loại vi khuẩn nhạy cảm nhất với

NPs SiO₂ trong số ba loại được thử nghiệm, bởi giá trị MIC của khuẩn này 100 mg/L là thấp nhất. Điều này có nghĩa là chỉ cần nồng độ 100 mg/L NPs SiO₂ là đủ để ức chế sự phát triển có thể nhìn thấy của *P. aeruginosa*. Trong khi đó cả hai loại vi khuẩn *E. coli* và *Enterobacter* thì có độ nhạy cảm với NPs SiO₂ là tương đương nhau, bởi cùng với giá trị MIC là 125 mg/L. Do đó, nồng độ NPs SiO₂ cần thiết để ức chế sự phát triển của chúng cao hơn so với vi khuẩn *Ps aeruginosa*. Bên cạnh đó, Gentamicin cho thấy rõ ràng là một kháng sinh rất mạnh với giá trị MIC thấp ấn tượng (3,13-12,50 mg/L) đối với cả ba chủng vi khuẩn. Trong khi đó, NPs SiO₂ cũng thể hiện khả năng kháng khuẩn với giá trị MIC xác định từ 100-125 mg/L, tuy nhiên cần nồng độ cao hơn đáng kể để đạt được hiệu quả ức chế tương đương. Điều này có thể mở ra tiềm năng ứng dụng của NPs SiO₂ trong các lĩnh vực mà kháng sinh truyền thống gặp phải vấn đề kháng thuốc, hoặc trong các ứng dụng cần vật liệu có hoạt tính kháng khuẩn nhưng không phải là kháng sinh.

Bảng 1: Giá trị MIC của NPs SiO₂ và gentamicin đối với các vi khuẩn

TT	Vi khuẩn	NPs SiO ₂ (mg/L)	Gentamicin (mg/L)
1	<i>E. coli</i>	125	6,25
2	<i>Enterobacter</i>	125	12,50
3	<i>Ps aeruginosa</i>	100	3,133

4. KẾT LUẬN

Đã tổng hợp thành công các hạt nano silicon dioxide (NPs SiO₂) từ vỏ trấu, một phụ phẩm nông nghiệp sẵn có. Các công cụ lý hoá hiện đại khác nhau được sử dụng để đặc tính hóa những hạt nano NPs SiO₂ này. Hình thái, phân bố và độ kết tinh của NPs SiO₂ được đánh giá bằng ảnh SEM và EDX, cho thấy có sự hiện diện của các khối kết tụ lại như bông, không

đồng đều nhưng có độ tinh khiết cao. Các liên kết của hạt nano như Si-O-Si hay Si-O và các nhóm chức khác đã được quan sát thấy từ kết quả FT-IR. Từ kết quả BET cho thấy, diện tích bề mặt tương đối lớn (93,97 m²/g). Khả năng ức chế đối với sự phát triển của ba chủng vi khuẩn Gram âm là *E. coli*, *Enterobacter* và *Ps aeruginosa* đã được định lượng. Và cho thấy nano SiO₂ có hoạt tính kháng khuẩn khác nhau đối với các loại vi khuẩn khác nhau, với *Ps aeruginosa* là loại nhạy cảm nhất trong số ba loại được thử nghiệm. Những kết quả này cho thấy NPs SiO₂ có nguồn gốc từ vỏ trấu là một tác nhân kháng khuẩn đầy hứa hẹn, mở ra các ứng dụng tiềm năng trong y tế, bảo quản thực phẩm hay xử lý nước, đồng thời cung cấp một giải pháp bền vững và kinh tế để tận dụng chất thải nông nghiệp.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn sự tài trợ của Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Quảng Bình, theo hợp đồng Thực hiện Nhiệm vụ Khoa học và Công nghệ, số 34-24/HĐ-KHCN ngày 02 tháng 10 năm 2024.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. S. F. Nadeem, U. F. Gohar, S. F. Tahir, et al., (2020) Antimicrobial resistance: more than 70 years of war between humans and bacteria. *Critical Reviews in Microbiology*, **46** (5), 578-599.
- [2]. M. Cloutier, D. Mantovani, F. Rosei, (2015) Antibacterial coatings: challenges, perspectives, and opportunities. *Trends in biotechnology*, **33** (11), 637-652.
- [3]. M. Fulekar. Nanotechnology: importance and applications: IK International Pvt Ltd; 2010.
- [4]. S. H. Ismail, A. Hamdy, T. A. Ismail, et al., (2021) Synthesis and characterization of antibacterial carbopol/ZnO hybrid nanoparticles gel. *Crystals*, **11** (9), 1092.

- [5]. V. Potapov, R. Fediuk, D. Gorev, (2020) Hydrothermal SiO₂ nanopowders: Obtaining them and their characteristics. *Nanomaterials*, **10** (4), 1-28.
- [6]. L. Wang, X. Guo, H. Zhang, et al., (2022) Recent advances in superhydrophobic and antibacterial coatings for biomedical materials. *Coatings*, **12** (10), 1469.
- [7]. F. Wang, J. Pi, F. Song, et al., (2020) A superhydrophobic coating to create multi-functional materials with mechanical/chemical/physical robustness. *Chemical Engineering Journal*, **381**, 122539.
- [8]. N. Worasuwannarak, T. Sonobe, W. J. J. o. a. Tanthapanichakoon, et al., (2007) Pyrolysis behaviors of rice straw, rice husk, and corncob by TG-MS technique. *Journal of analytical applied pyrolysis*, **78** (2), 265-271.
- [9]. S. S. Hossain, L. Mathur, P. Roy, (2018) Rice husk/rice husk ash as an alternative source of silica in ceramics: A review. *Journal of Asian Ceramic Societies*, **6** (4), 299-313.
- [10]. A. Bathla, C. Narula, R. Chauhan, (2018) Hydrothermal synthesis and characterization of silica nanowires using rice husk ash: an agricultural waste. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **29**, 6225-6231.
- [11]. M. Huang, J. Cao, X. Meng, et al., (2016) Preparation of SiO₂ nanowires from rice husks by hydrothermal method and the RNA purification performance. *Chemical Physics Letters*, **662**, 42-46.
- [12]. T. Gini, G. J. Jothi, (2015) In vitro screening of antibacterial and antifungal activity of *Marsilea quadrifolia* (Marsileaceae) Linn. extract. *Am J Phytomed Clin Therap*, **3**, 313-329.
- [13]. I. Kartini, I. N. A. a. Jannah, F. R. Amalia, et al., (2018) Short Time Synthesis of Titania Nanotubes: Effect of Pre-Mixing Prior Hydrothermal. *Indonesian Journal of Chemistry*, **19** (1), 58-67.
- [14]. N. Soltani, A. Bahrami, M. Pech-Canul, et al., (2015) Review on the physicochemical treatments of rice husk for production of advanced materials. *Chemical engineering journal*, **264**, 899-935.
- [15]. D. Arun Kumar, J. Merline Shyla, F. P. Xavier, (2012) Synthesis and characterization of TiO₂/SiO₂ nano composites for solar cell applications. *Applied Nanoscience*, **2**, 429-436.
- [16]. S. M. T. Al-Abboodi, E. J. A. Al-Shaibani, E. A. Alrubai, (2010) Preparation and characterization of nano silica prepared by different precipitation methods. *Materials Science and Engineering*, **978**, 1-12.
- [17]. B. Shokri, M. A. Firouzjah, S. I. Hosseini, (2009) FTIR analysis of silicon dioxide thin film deposited by metal organic-based PECVD. *Proceedings of 19th international symposium on plasma chemistry society*, 1-10
- [18]. K. S. Sing, (1982) Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity (Provisional). *Pure applied chemistry*, **54** (11), 2201-2218.
- [19]. L. Fu, J. Zhu, W. Huang, et al., (2020) Preparation of nano-porous carbon-silica composites and its adsorption capacity to volatile organic compounds. *Processes*, **8** (3), 372.
- [20]. G. Singh, H. B. Dizaji, H. Puttuswamy, et al., (2022) Biogenic nanosilica synthesis employing agro-waste rice straw and its application study in photocatalytic degradation of cationic dye. *Sustainability*, **14** (1), 539.
- [21]. I. Fatimah, N. I. Prakoso, I. Sahroni, et al., (2019) Physicochemical characteristics and photocatalytic performance of TiO₂/SiO₂ catalyst synthesized using biogenic silica from bamboo leaves. *Heliyon*, **5** (11), 1-9.

- [22]. Y. a. Qing, L. Cheng, R. Li, et al., (2018) Potential antibacterial mechanism of silver nanoparticles and the optimization of orthopedic implants by advanced modification technologies. *International journal of nanomedicine*, 11-27.
- [23]. A. Davin-Regli, J.-P. Lavigne, J.-M. Pagès, (2019) Enterobacter spp.: update on taxonomy, clinical aspects, and emerging antimicrobial resistance. *Clinical microbiology reviews*, **32 (4)**, 12-19.
- [24]. A. Alhadhrami, G. G. Mohamed, A. H. Sadek, et al., (2022) Behavior of silica nanoparticles synthesized from rice husk ash by the sol–gel method as a photocatalytic and antibacterial agent. **15 (22)**, 8211.
- [25]. G. Bagherzade, M. M. Tavakoli, M. H. Namaei, (2017) Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous extract of saffron (*Crocus sativus* L.) wastages and its antibacterial activity against six bacteria. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, **7 (3)**, 227-233.