

Hoạt tính kháng khuẩn của vật liệu nano lai Fe₃O₄@Ag được chế tạo bằng phương pháp nuôi mầm

Nguyễn Thị Ngọc Linh^{1,2*}, Ngô Đại Quang³, Lê Thế Tâm⁴, Ngô Thanh Dung⁵, Lê Thị Thanh Tâm⁵, Nguyễn Hoa Du⁴, Phạm Hồng Nam⁶, Nguyễn Hữu Quân⁷, Lê Trọng Lưu^{2,5*}

¹Trường Đại học Khoa học, Đại học Thái Nguyên, 20 Lương Ngọc Quyến, Thành phố Thái Nguyên 24000, Việt Nam

²Học Viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội 10000, Việt Nam

³Tập đoàn hóa chất Việt Nam, số 2 Phạm Ngũ Lão, Hoàn Kiếm, Hà Nội 10000, Việt Nam

⁴Đại học Vinh, 182 Lê Duẩn, Thành phố Vinh, Nghệ An 43000, Việt Nam

⁵Viện Kỹ thuật Nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam,
18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội 10000, Việt Nam

⁶Viện Khoa học Vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam,
18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội 10000, Việt Nam

⁷Trường Đại học Sư phạm Thái Nguyên, 20 Lương Ngọc Quyến, Thành phố Thái Nguyên 24000, Việt Nam

Đến Tòa soạn 15-6-2020; Chấp nhận đăng 20-12-2020

Abstract

In this work, Fe₃O₄@Ag hybrid nanomaterials with core-shell structure were prepared by reducing Ag⁺ on the surface of Fe₃O₄ nanoparticles (NPs) using seeded - growth method in organic solvents. TEM images indicated the as-synthesized nanoparticles were spherical in shape and fairly uniform in size, with the average diameter of 15,8 nm. As a result, after encapsulated by poly (maleic anhydride-alt-1-octadecen) (PMAO), surface of Fe₃O₄@Ag becomes hydrophilic and well-dispersed in water. The hybridization of Ag NPs and Fe₃O₄ NPs showed more noticeable bactericidal activity than that of Ag-NPs. The antibacterial activity of Fe₃O₄-Ag hybrid nanomaterials showed potent inhibitory activity against both Gram-positive and Gram-negative pathogens.

Keywords. Hybrid nanoparticles, antibacterial, Fe₃O₄@Ag, Gram-positive, Gram-negative.

1. MỞ ĐẦU

Hiện nay, sự xuất hiện các chủng vi khuẩn mới kháng thuốc đã trở thành một vấn đề nghiêm trọng trong chăm sóc sức khỏe cộng đồng.^[1] Do đó, việc tìm ra các vật liệu mới có khả năng tiêu diệt các chủng vi khuẩn kháng thuốc là vấn đề cấp thiết hiện nay. Các nghiên cứu gần đây cho thấy các hạt nano Ag, Au, CuO, TiO₂ và ZnO đều có hoạt tính kháng khuẩn,^[2-4] trong đó Ag NPs được chứng minh là chất kháng khuẩn mạnh, chúng có khả năng chống lại các loài vi khuẩn, vi rút và các vi sinh vật nhân thực khác.^[5] Ưu điểm của nano Ag trong vai trò kháng khuẩn là khả năng tiêu diệt mạnh các vi khuẩn gây bệnh trong khi các chủng vi khuẩn này không có khả năng kháng lại bạc.

Để cải thiện khả năng kháng khuẩn của Ag NPs,

hiện nay các nghiên cứu tập trung vào hệ nano lai giữa Ag với các ferit từ. Đặc tính nổi bật của các hạt nano lai ferit từ - bạc so với Ag NPs đơn lẻ có cùng kích thước là hoạt tính kháng khuẩn trong cấu trúc lai được tăng cường do đó sẽ nâng cao hiệu quả điều trị cũng như giảm thiểu tình trạng kháng kháng sinh.^[6]

Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng phương pháp nuôi mầm để chế tạo hệ nano lai Fe₃O₄@Ag cấu trúc core-shell đáp ứng từ tốt và có hoạt tính kháng khuẩn mạnh. Các hạt nano Fe₃O₄@Ag có khả năng kháng khuẩn cao chống lại các chủng vi khuẩn *Escherichia coli* (*E. coli*) và *Sarcina lutea* (*S. lutea*).

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Hóa chất

Các hóa chất được dùng trong quá trình chế tạo vật liệu là hóa chất tinh khiết của hãng Sigma - Aldrich: sắt (III) axetylaxetonat ($\text{Fe}(\text{acac})_3$), axit oleic (OA), oleylamin (OLA), 1-octadecanol (OCD-ol), 1-octadecen (ODE), etanol, hexan, cloroform và poly (maleic anhydride-alt-1-octadecen) (PMAO).

Môi trường LB (Luria Bertani) được sử dụng để nuôi cấy vi khuẩn. Các chủng vi khuẩn *Escherichia coli* (*E. coli*) - Gram âm và *Sarcina lutea* (*S. lutea*) - Gram dương do khoa Vi sinh - Viện kiểm nghiệm thuốc Trung ương cung cấp được sử dụng để thử hoạt tính kháng khuẩn.

2.2. Tổng hợp vật liệu

2.2.1. Hạt nano Fe_3O_4

Hạt nano Fe_3O_4 được tổng hợp bằng phương pháp phân hủy nhiệt theo nghiên cứu trước của nhóm chúng tôi.^[7] Nồng độ các chất $\text{Fe}(\text{acac})_3$, OCD-ol, OLA và OA lần lượt là 673 mM, 300 mM, 744 mM và 744 mM. Phản ứng được thực hiện trong bình cầu ba cổ chứa 40 mL ODE. Khấy hỗn hợp phản ứng ở nhiệt độ phòng trong 30 phút. Sau đó tăng dần nhiệt độ lên 100 °C và giữ trong 30 phút. Tiếp tục tăng nhiệt độ lên 200 °C, hồi lưu trong 30 phút. Cuối cùng tăng nhiệt độ lên 295 °C duy trì trong 60 phút, sau đó làm nguội sản phẩm đến nhiệt độ phòng. Toàn bộ quá trình được thực hiện trong điều kiện sạch khí nitơ liên tục.

Sau khi tổng hợp, vật liệu được thu hồi và rửa sạch theo quy trình: lấy 1 mL dung dịch mẫu trộn đều với 1 mL etanol sau đó ly tâm ở 10.000-12.000 (vòng/phút) trong 10 phút. Thu hồi phần kết tủa và phân tán trong 1 mL *n*-hexan, kết tủa lại bằng etanol, sau đó sử dụng thanh từ để thu hạt nano. Quy trình rửa mẫu được lặp lại từ 3-5 lần.

2.2.2. Hệ nano lai $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{Ag}$

Các hạt nano lai $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ được tổng hợp bằng phương pháp nuôi mầm^[8] với quy trình: Hòa tan 6 mL OLA và 0,3 g OCD-ol trong 40 mL ODE trong bình cầu 3 cổ. Cho thêm 0,1 g Fe_3O_4 phân tán trước trong 5 mL *n*-hexan (mục 2.2.1). Tiếp tục cho bạc nitrat với lượng mẫu được khảo sát là 0,1; 0,5 và 1,0 g tương ứng với ký hiệu mẫu $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{Ag}0,1$; $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{Ag}0,5$ và $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{Ag}1,0$. Hỗn hợp phản ứng được khuấy ở nhiệt độ phòng trong 30 phút. Sau đó tăng nhiệt độ lên 80 °C, giữ trong 30 phút. Tiếp tục tăng nhiệt độ đến 200 °C, hồi lưu trong 60 phút. Toàn bộ quá trình được thực hiện trong điều kiện cấp khí nitơ liên tục. Các hạt nano lai $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ sau khi tổng hợp được rửa sạch tương tự như mục 2.2.1.

Hạt nano Ag (đối chứng) được tổng hợp tương tự nhưng không sử dụng hạt mầm Fe_3O_4 .

2.3. Chuyển pha các hạt nano sang môi trường nước

Quy trình chuyển pha hạt nano bằng PMAO được thực hiện như đã công bố.^[9] Phân tán 50 mg hạt nano trong 1 mL cloroform, rung siêu âm 3-5 phút để các hạt phân tán đều (dung dịch A). Cho 1 g PMAO vào 10 mL cloroform, rung siêu âm 3-5 phút để hòa tan hết PMAO (dung dịch B). Cho từ từ dung dịch A vào dung dịch B và rung siêu âm 5-10 phút đảm bảo dung dịch được trộn đều, không lắng cặn. Sản phẩm thu được để ở nhiệt độ phòng và khuấy từ đến khi cloroform bay hết. Sau đó thêm 12 mL dung dịch NaOH 1M, tiếp tục khuấy ta thu được các mẫu có khả năng phân tán trong nước. Sản phẩm sau khi chuyển pha được rửa sạch bằng nước cất.

2.4. Các phương pháp đặc trưng vật liệu

Hình thái và kích thước hạt được xác định bằng phương pháp hiển vi điện tử truyền qua (TEM) trên thiết bị JEM 1010. Phân tích cấu trúc pha của vật liệu trên thiết bị nhiễu xạ kế tia X - SIEMENS D5005 sử dụng bức xạ CuK_α ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$). Phổ UV-Vis của vật liệu được ghi trên máy quang phổ Jasco V-670. Tính chất từ của vật liệu được đo ở nhiệt độ phòng trên hệ từ kế mẫu rung (VSM).

2.5. Phương pháp đánh giá hoạt tính kháng khuẩn của vật liệu

Hạt nano sau khi chuyển pha được đánh giá hoạt tính kháng khuẩn với hai chủng vi khuẩn *E. coli* và *S. lutea* bằng phương pháp khuếch tán giếng thạch:

Chuẩn bị các đĩa petri chứa môi trường LB đặc. Hút 30 μL dịch nuôi mỗi loại vi khuẩn trong môi trường LB lỏng (đã được hoạt hóa bằng nuôi từ 4-8 giờ trong môi trường LB lỏng ở 28 °C) lên đĩa môi trường LB đặc và trải đều trên mặt thạch. Dùng khoan nút chai vô trùng có đường kính 1 cm đục 5 giếng trên đĩa thạch và nhỏ 100 μL dung dịch hạt nano vào 4 giếng ở các nồng độ 0,1; 0,3; 0,5 và 1,0 mg/mL, giếng đối chứng bổ sung nước cất khử trùng. Đặt các đĩa petri đã bổ sung dung dịch hạt nano vào tủ lạnh 4 °C khoảng 1-2 h cho dung dịch nano khuếch tán đều vào môi trường và đặt vào tủ ấm nuôi ở 30 °C, từ 18-24 h. Đo đường kính vòng kháng khuẩn, chụp hình và ghi lại kết quả. Mỗi thí nghiệm lặp lại 3 lần.

Đường kính vòng kháng khuẩn (D) được xác định theo công thức: $D = D_2 - D_1$ (mm), trong đó: D_2

là đường kính vòng kháng khuẩn tính từ tâm đục lỗ (mm); D_1 là đường kính đục lỗ thạch (mm).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc trưng tính chất vật liệu

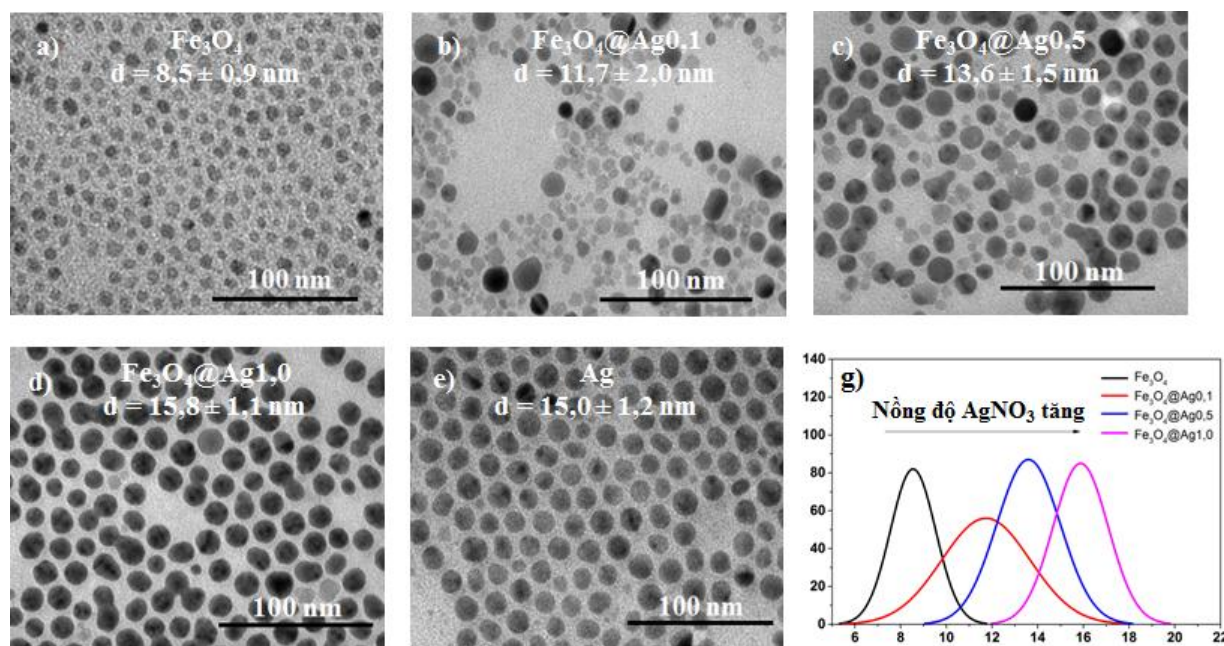
Hình 1 trình bày ảnh TEM của các vật liệu Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$ và Ag. Kết quả cho thấy vật liệu Fe_3O_4 thu được có dạng hạt, hình cầu, đồng đều, kích thước hạt $8,5 \pm 0,9$ nm, biên hạt rõ ràng và không có sự kết đám (hình 1a). Các hạt Fe_3O_4 được sử dụng làm hạt mầm cho sự hình thành cấu trúc lai $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$ theo phương pháp nuôi mầm. Hình thái học của hệ lai $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$ được trình bày trên hình 1a, b và c.

Nhận thấy mẫu $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag_{0,1}$ (hình 1b), ảnh TEM xuất hiện những hạt cầu nhỏ, có màu nhạt, cùng với các hạt cầu lớn, màu đậm hơn. Các hạt nano nhỏ này là Fe_3O_4 NPs không được phủ hoặc được phủ một lớp vỏ Ag rất mỏng, kích thước thay đổi không nhiều so với ban đầu. Các hạt lớn kích thước $11,7 \pm 2$ nm là hạt lai có cấu trúc lõi - vỏ, với lõi là Fe_3O_4 NPs và lớp vỏ là Ag. Tuy nhiên, lớp vỏ này được hình thành với độ dày không đều có thể do nồng độ AgNO_3 trong tiền chất sử dụng còn thấp. Vật liệu thu được không tồn tại các hạt nano Ag tự do, bởi vì chúng được tách ra bằng nam châm. Mẫu

$\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag_{0,5}$ (hình 1c), được hình thành đồng đều hơn, tuy nhiên vẫn còn một lượng nhỏ các hạt Fe_3O_4 chưa được bọc vỏ Ag. Quan sát mẫu $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag_{1,0}$ (hình 1d) cho thấy các hạt lai thu được tương đối đồng đều, không còn các hạt Fe_3O_4 tự do, kích thước hạt lai đạt $15,8 \pm 1,1$ nm.

Như vậy, sự hình thành cấu trúc $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$ phụ thuộc vào nồng độ AgNO_3 sử dụng trong quá trình tổng hợp (hình 1g). Điều này có thể được giải thích bằng mô hình La Mer.^[10] Trong phản ứng trung gian tạo lớp vỏ Ag, các nguyên tử Ag sinh ra sẽ lắng đọng trên bề mặt Fe_3O_4 NPs. Khi trên lõi Fe_3O_4 đã có sự xuất hiện của các nguyên tử Ag thì những vị trí đó trở nên hoạt động và một lượng lớn Ag bị lắng đọng tiếp theo hình thành lớp vỏ Ag liên tục. Tuy nhiên khi lượng tiền chất của Ag thấp, lúc này trên lõi sẽ có những vị trí hoạt động có nhiều Ag và những vị trí trống, khi đó hiệu ứng Ostwald bắt đầu cạnh tranh và chiếm ưu thế hơn phản ứng lắng đọng dẫn đến quá trình hình thành vỏ Ag diễn ra không đồng đều.^[11]

Các hạt nano Ag tổng hợp trong điều kiện tương tự (không có hạt mầm Fe_3O_4) có kích thước $15,0 \pm 1,2$ nm, tương đương với kích thước hạt lai $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag_{1,0}$ (hình 1e). Do mẫu $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag_{1,0}$ có độ đồng đều cao nên chúng tôi sử dụng để nghiên cứu các tính chất tiếp theo của hệ lai.

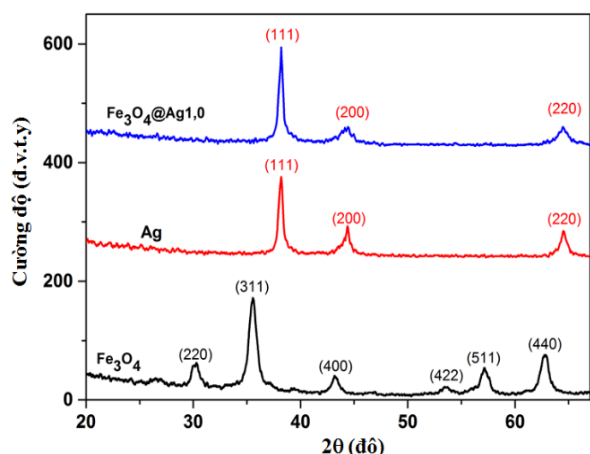


Hình 1: Ảnh TEM của các hạt nano Fe_3O_4 , Ag và $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$

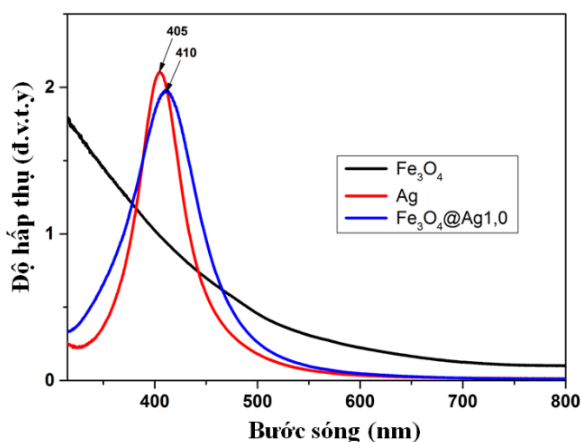
Sự hình thành cấu trúc lai $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$ cũng được chứng minh bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (hình 2). Kết quả phân tích cho thấy Fe_3O_4 NPs có các

đỉnh nhiễu xạ đặc trưng cho cấu trúc spinel của Fe_3O_4 , gồm các pic điển hình tương ứng với các mặt phẳng mạng (220), (311), (400), (511) và (440) tại

các vị trí $30,0^\circ$; $35,0^\circ$; $43,0^\circ$; $57,0^\circ$ và $62,5^\circ$ (JCPDS 19-0629). Với mẫu $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag1,0$ không quan sát thấy các pic của Fe_3O_4 , chỉ xuất hiện các pic đặc trưng cho Ag cấu trúc lập phương tâm mặt tại các vị trí $2\theta = 38,21^\circ$; $43,61^\circ$ và $64,21^\circ$ tương ứng với mặt phẳng mạng tinh thể (111), (200) và (220) (JCPDS 004-0783).^[12] Điều này có thể giải thích là do hạt Fe_3O_4 đã được bọc hoàn toàn bởi lớp vỏ Ag như quan sát ảnh TEM hình 1d.



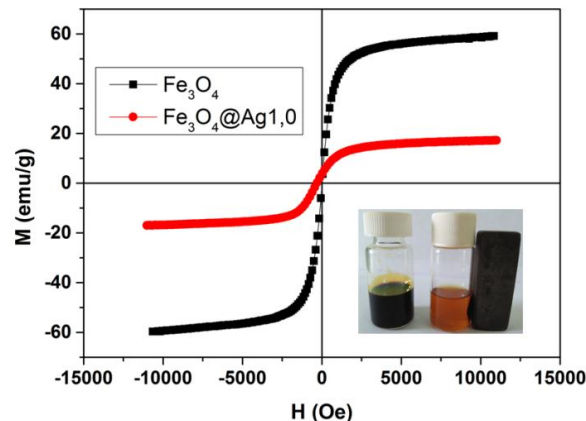
Hình 2: Giảm nhiễu xạ tia X của hạt nano Fe_3O_4 và $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag1,0$



Hình 3: Phổ UV-Vis của dung dịch các hạt nano Fe_3O_4 , Ag và $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag1,0$ trong hexan

Để xác nhận sự hình thành cấu trúc lai chúng tôi tiến hành đo phổ UV-Vis của vật liệu chế tạo được (hình 3). Kết quả cho thấy trong vùng bước sóng 300-800 nm, Fe_3O_4 NPs không xuất hiện đỉnh hấp thụ. Điều này hoàn toàn hợp lý vì Fe_3O_4 NPs không có hiệu ứng plasmon bề mặt hay các cơ chế quang học khác. Với Ag NPs, do hiệu ứng plasmon bề mặt nên trên phổ hấp thụ xuất hiện một đỉnh tại vị trí 405 nm, với độ bán rộng của đỉnh hấp thụ plasmon khá hẹp. Với mẫu $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag1,0$, xuất hiện vị trí cực đại SPR ở bước sóng 410 nm. Như vậy, sự hình thành cấu trúc lai giữa Ag và Fe_3O_4 dẫn đến sự mở rộng và

dịch chuyển đáng kể đỉnh SPR so với các hạt nano Ag riêng lẻ. Sự tăng cường tính chất cộng hưởng plasmon bề mặt của các hạt lai được giải thích dựa vào sự thay đổi tính chất điện tử bề mặt của các thành phần trong hệ lai.



Hình 4: Đường cong từ trễ của các hạt nano Fe_3O_4 và $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag1,0$; ảnh lồng bên trong là dung dịch hạt lai $\text{Fe}_3\text{O}_4/Au$ rỗng trong hexan khi không có và có nam châm

Tính chất từ của vật liệu được kiểm tra trên hệ từ kế mẫu rung (VSM) với từ trường tối đa 10 kOe. Kết quả hình 4 cho thấy, các mẫu đều đạt tới trạng thái bão hòa, giá trị từ độ bão hòa M_s tại 300 K của các mẫu Fe_3O_4 và $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag1,0$ lần lượt là 58,7 emu/g và 17,3 emu/g. Như vậy, từ độ bão hòa của mẫu lai thấp hơn mẫu hạt từ gần 3,4 lần. Điều này có thể giải thích là từ độ bão hòa được xác định theo đơn vị emu/g, trong khi thành phần của mẫu lai chỉ có một phần nhỏ là các hạt nano từ. Tuy nhiên, khả năng đáp ứng từ của mẫu lai vẫn tương đối tốt.

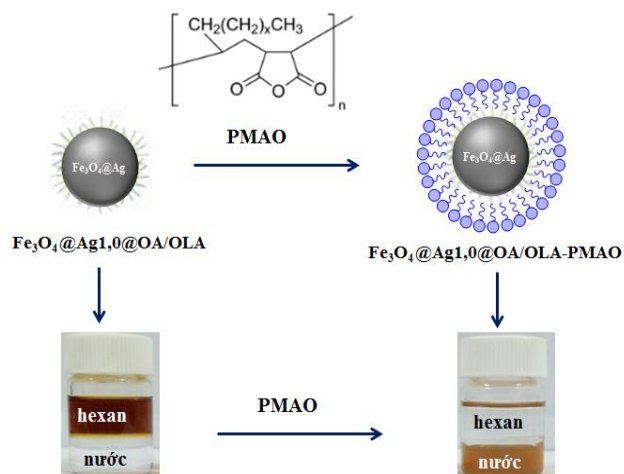
3.2. Quá trình chuyển pha hạt nano bằng PMAO

Vật liệu sau khi chế tạo bị bao phủ một lớp chất hoạt động bề mặt OA và OLA do đó chúng phân tán được trong dung môi không phân cực. Để ứng dụng trong y - sinh thì chúng phải phân tán trong nước. Do đó mẫu $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag1,0$ sau khi tổng hợp được chuyển pha bằng PMAO (hình 5). Kết quả cho thấy hạt nano lai trước khi bọc PMAO phân tán rất tốt trong *n*-hexan và không phân tán trong nước. Sau khi bọc PMAO bề mặt của các hạt nano lai trở nên ưa nước và phân tán tốt trong nước. Kết quả này cũng xảy ra tương tự khi chúng tôi sử dụng PMAO để bọc các hạt Fe_3O_4 và Ag tự do.

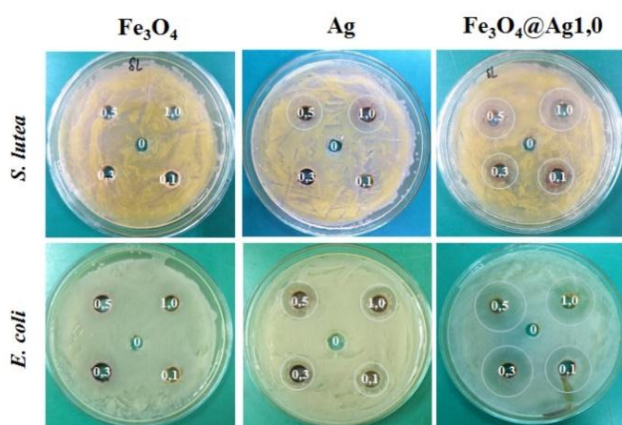
3.3. Hoạt tính kháng khuẩn của vật liệu

Kết quả nghiên cứu hoạt tính kháng khuẩn của vật liệu được trình bày trên hình 6 và bảng 1. Kết quả

cho thấy, vật liệu Fe_3O_4 không có tác dụng kháng khuẩn. Vật liệu Ag thể hiện hoạt tính kháng khuẩn phụ thuộc vào nồng độ: với nồng độ hạt 0,1 và 0,3 mg/mL, Ag NPs chỉ thể hiện hoạt tính kháng khuẩn với *E. coli*, không thể hiện hoạt tính kháng khuẩn với *S. lutea*. Ở nồng độ mẫu cao hơn (0,5 và 1,0 mg/mL), Ag NPs thể hiện hoạt tính kháng khuẩn với cả *E. coli* và *S. lutea*, kích thước vòng kháng khuẩn trong hai trường hợp này tương đương nhau (1,4-1,6 cm). Với vật liệu $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag1,0$ thể hiện hoạt tính kháng khuẩn trong phạm vi nồng độ khảo sát với cả *E. coli* và *S. lutea*. Kích thước vòng kháng khuẩn thu được với *E. coli* (2,4-2,8 cm) cao hơn *S. lutea* (1,4-2,2 cm). Kết quả này cho thấy khả năng ức chế vi khuẩn *E. coli* của hệ lai $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag1,0$ mạnh hơn *S. lutea*. Khi nồng độ hạt lại tăng 0,1-1,0 mg/mL, kích thước vòng kháng khuẩn tăng nhẹ điều này có thể được giải thích bằng sự tăng số lượng các tâm hoạt động, tuy nhiên do ảnh hưởng của lớp vỏ bọc PMAO nên khả năng khuếch tán của chúng ra môi trường bị cản trở.



Hình 5: Quá trình chuyển pha và bọc hạt nano $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag1,0$ bằng PMAO



Hình 6: Hoạt tính kháng khuẩn của vật liệu Fe_3O_4 , Ag và $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag1,0$

Bảng 1: Kích thước vòng kháng khuẩn của vật liệu Fe_3O_4 , Ag và $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag1,0$

Vi khuẩn	Nồng độ (mg/mL)	Kích thước vòng kháng khuẩn (cm)		
		Fe_3O_4	Ag	$\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag1,0$
<i>S. lutea</i>	0	0	0	0
	0,1	0	0	1,4
	0,3	0	0	1,4
	0,5	0	1,4	2,0
	1,0	0	1,6	2,2
<i>E. coli</i>	0	0	0	0
	0,1	0	1,2	2,4
	0,3	0	1,2	2,8
	0,5	0	1,6	2,8
	1,0	0	1,5	2,6

4. KẾT LUẬN

Hệ nano lai cấu trúc core - shell $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$ với kích thước hạt 15,8 nm được tổng hợp thành công trong dung môi hữu cơ bằng phương pháp nuôi mầm. Vật liệu chế tạo được đáp ứng từ tốt, có độ bền và ổn định cao sau khi chuyển pha bằng PMAO. Vật liệu nano lai $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$ là một chất kháng khuẩn hiệu quả với cả vi khuẩn Gram dương và Gram âm, hoạt tính kháng khuẩn của chúng được tăng cường so với Ag NPs đơn lẻ. Nghiên cứu này mở đường cho việc ứng dụng các hạt nano lai $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$ trong khử khuẩn như xử lý nguồn nước nhiễm khuẩn, có thể thu hồi và tái sử dụng vật liệu nhờ từ trường ngoài.

Lời cảm ơn. Công trình này được thực hiện với sự hỗ trợ về kinh phí của đề tài cấp Bộ Giáo dục và Đào tạo mã số B2020-TDV-04 (N.H.D) và đề tài nghiên cứu cơ bản mã số 103.02-2017.334.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. S. Liao, Y. Zhang, X. Pan et al. Antibacterial activity and mechanism of silver nanoparticles against multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa*, *Int. J. Nanomedicine*, **2019**, *14*, 1469-1487.
2. J. T. Seil, and T. J. Webster. Antimicrobial applications of nanotechnology: methods and literature. *Int. J. Nanomedicine*, **2012**, *7*, 2767-2781.
3. K. S. Siddiqi, A. Rahman, Tajuddin and A. Husen. Properties of zinc oxide nanoparticles and their activity against microbes. *Nanoscale Res. Lett.*, **2018**, *13*, 141-153.
4. H. N. P. Antonio, P. R. Filho, M. M. Bertolini et al. Antibacterial photocatalytic activity of different crystalline TiO_2 phases in oral multispecies biofilm. *Dent. Mater.*, **2018**, *34*, 182-195.
5. J. Kusnetsov, E. Vanainen, N. Elomaa et al. Copper and silver ions more effective against legionellae than against mycobacteria in a hospital warm water

- system, *Water Res.*, **2001**, 35, 4217-4225.
6. S. Venkateswarlu, B. N. Kumar, N. V. V. Jyothi et al. A novel green synthesis of Fe₃O₄-Ag core shell recyclable nanoparticles using vitis vinifera stem extract and its enhanced antibacterial performance. *Phys. B Condens. Matter.*, **2015**, 457, 30-35.
 7. L. T. Lu, N. T. Dung, N. T. K. Thanh et al. Synthesis of magnetic cobalt ferrite nanoparticles with controlled morphology, monodispersity and composition: The influence of solvent, surfactant, reductant and synthetic conditions, *Nanoscale*, **2015**, 7, 19596-19610.
 8. J. Jiang, H. Gu, J. Y. Ying et al. Bifunctional Fe₃O₄-Ag heterodimer nanoparticles for two-photon fluorescence imaging and magnetic manipulation, *Adv. Mater.*, **2008**, 20, 4403-4407.
 9. N. T. Dung, L. T. Lu, N. T. K. Thanh et al. High magnetisation, monodisperse and water-dispersible CoFe@Pt core/shell nanoparticles, *Nanoscale*, **2017**, 9, 8952-8961.
 10. V. K. Lamer and R. H. Dinegar. Theory, production and mechanism of formation of monodispersed hydrosols, *J. Am. Chem. Soc.*, **1950**, 72, 4847-4854.
 11. N. T. T. Trang, T. T. Thuy, K. Higashimine. Magnetic-plasmonic FePt@Ag core-shell nanoparticles and their magnetic and sers properties, *Plasmonics*, **2013**, 8, 1177-1184.
 12. L. M. Tung, N. X. Cong, L. A. Tuan et al. Synthesis, characterizations of superparamagnetic Fe₃O₄-Ag hybrid nanoparticles and their application for highly effective bacteria inactivation, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, **2016**, 16, 5902-5912.

Liên hệ: Nguyễn Thị Ngọc Linh

Trường Đại học Khoa học, Đại học Thái Nguyên
20 Lương Ngọc Quyến, Thành phố Thái Nguyên 24000, Việt Nam
E-mail: linhntn@tnus.edu.vn
Điện thoại: +84- 984792522.