



SPMS
2023

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, 5 – 7/11/2023

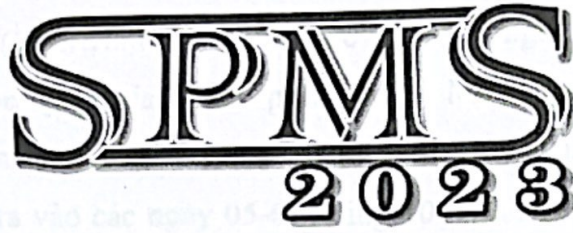
HỘI NGHỊ VẬT LÝ CHẤT RẮN VÀ KHOA HỌC VẬT LIỆU TOÀN QUỐC LẦN THỨ XIII

TUYỂN TẬP BÁO CÁO

QUYỂN 2



NHÀ XUẤT BẢN BÁCH KHOA HÀ NỘI



HỘI NGHỊ VẬT LÝ CHẤT RẮN VÀ KHOA HỌC VẬT LIỆU TOÀN QUỐC LẦN THỨ XIII

TUYỂN TẬP BÁO CÁO QUYỂN 2

NHÀ XUẤT BẢN BÁCH KHOA HÀ NỘI
Tháng 10 năm 2023

CHÉ TẠO VÀ ỨNG DỤNG TRONG CHẨN ĐOÁN HÌNH ẢNH Y KHOA CỦA VẬT LIỆU CÓ CẤU TRÚC NANO TRÊN CƠ SỞ HẠT FERRITE TỪ VÀ KIM LOẠI QUÝ

Nguyễn Thị Ngọc Linh¹, Ngô Thanh Dung², Lê Thị Thanh Tâm², Nguyễn Hồng Quân¹, Vũ Văn Hiếu¹, Nguyễn Hoa Du³, Phan Thị Hồng Tuyền², Lưu Tiến Hưng³, Nguyễn Hồng Quảng³, Lê Trọng Lưu², Lê Thế Tâm³*

¹Trường Đại học Khoa học, Đại học Thái Nguyên, Phường Tân Thịnh, Thành phố Thái Nguyên

²Viện Kỹ thuật Nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội

³Trường Đại học Vinh, 182 Lê Duẩn, Thành phố Vinh, Nghệ An.

*Email: tamlt@vinhuni.edu.vn

Tóm tắt:

Trong nghiên cứu này, chúng tôi chế tạo hệ vật liệu nano y sinh trên cơ sở các hạt ferrite từ và kim loại quý. Vật liệu chế tạo được có cấu trúc lõi từ, vỏ là kim loại quý bằng phương pháp phát triển hạt mầm trong dung môi hữu cơ. Ảnh TEM cho thấy các hạt nano ferrite từ (Fe_3O_4) tổng hợp được có dạng hình cầu, đồng đều với kích thước hạt trung bình $9,4 \pm 0,8$ nm, trong khi đó các hạt nano lai giữa ferrite từ và kim loại quý ($\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$) có cấu trúc lõi-vỏ với kích thước trung bình $15,5 \pm 1,3$ nm. Các hạt nano lai sau khi chức năng hóa bề mặt bằng poly(maleic anhydride-alt-1-octadecene) trở nên ưa nước và phân tán tốt trong nước. Kết quả dữ liệu thử nghiệm *in-vitro* MRI/CT trong điều kiện mô phỏng sinh lý với nồng độ muối thay đổi cho thấy vật liệu nano lai ferrite từ-kim loại quý ($\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$) được chế tạo có độ tương phản ảnh T_2 và đặc tính suy giảm tia X tốt và độ ổn định cao. Với những đặc tính nổi bật này, vật liệu nano y sinh trên cơ sở các hạt ferrite từ và kim loại quý trình bày trong nghiên cứu này có tiềm năng cho các kỹ thuật hình ảnh sinh học trong các ứng dụng thực tế.

Từ khóa: Ferrite từ, kim loại quý, chụp cộng hưởng từ (MRI), chụp cắt lớp vi tính (CT) và poly (maleic anhydride-alt-1-octadecene).

GIỚI THIỆU

Gần đây, những tiến bộ về công nghệ đã tác động trực tiếp đến lĩnh vực chẩn đoán hình ảnh y khoa. Chụp cộng hưởng từ hạt nhân (magnetic resonance imaging - MRI) và chụp cắt lớp vi tính (computed tomography - CT) là những kỹ thuật chẩn đoán hình ảnh được sử dụng phổ biến nhất hiện nay trong y khoa do độ phân giải không gian ba chiều cao, chất lượng ảnh tốt và khả năng thâm nhập sâu của sóng điện từ vào trong cơ thể mà không cần phẫu thuật [1]. Tuy nhiên, không một kỹ thuật đơn lẻ nào cung cấp đầy đủ thông tin về cấu trúc và chức năng của cơ thể sống một cách đầy đủ. Kỹ thuật MRI có ưu điểm nổi bật là hình ảnh thu được rõ ràng, sắc nét, độ phân giải cao và đa mặt phẳng, không sử dụng tia bức xạ năng lượng cao hay tác động sinh học khác nên độ an toàn cao. Tuy nhiên MRI cần thời gian đo dài đến hàng chục phút, và kém hiệu quả đối với chẩn đoán các tổn thương về xương, calci, xơ vữa động mạch có vôi hóa. Trong khi đó, chụp CT cho độ phân giải không gian cao, mật độ lớn hơn so với các hình ảnh khác, đặc biệt thời gian chụp rất nhanh, tuy nhiên việc sử dụng bức xạ tia X lại không tốt cho sức khỏe. Do đó, việc kết hợp kỹ thuật hình ảnh kép MRI/CT sẽ hỗ trợ khắc phục

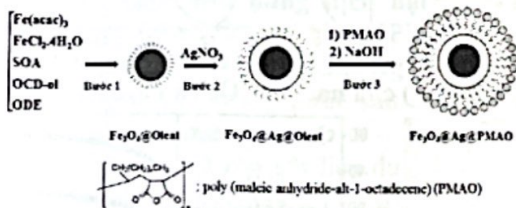
những hạn chế của các phương thức riêng rẽ, giúp cho chẩn đoán bệnh chính xác hơn [2–4]. Ngoài ra, một hạn chế của các kỹ thuật chẩn đoán này là độ nhạy tương đối thấp, trong nhiều trường hợp phải sử dụng các chất tương phản để tăng chất lượng hình ảnh [2,3].

Để cải thiện chất lượng hình ảnh trong kỹ thuật chụp MRI/CT, một số vật liệu nano từ tính là ferrite của các kim loại chuyển tiếp dãy 3d (Fe, Co hoặc Mn) đã được sử dụng với mục đích thay thế các chất tương phản trên thị trường để làm chất tương phản T_2 trong kỹ thuật MRI [7–9]. Đối với kỹ thuật CT, xu hướng thay thế hợp chất chứa iốt do các tác dụng phụ của nó bằng việc nghiên cứu sử dụng hạt nano vàng nhờ tính tương thích sinh học, an toàn do tính trơ về mặt hóa học và có hệ số làm suy giảm tia X lớn hơn. Tuy nhiên, chất cản quang trên nền hạt nano Au lại có giá thành cao. Trong khi đó, nano Ag có nhiều tính năng sinh học hữu ích, chẳng hạn như kháng khuẩn, kháng vi rút và kháng nấm. Ngoài ra, các đặc tính quang học độc đáo của nano Ag cũng đã được ứng dụng để phát triển các cảm biến, các tác nhân hình ảnh và phương pháp điều trị [10,11]. Gần đây, đặc tính chắn tia bức xạ X của vật liệu chứa nano Ag đã được sử dụng cho hình ảnh CT như một phương pháp mới trong nỗ lực tìm kiếm tác

nhân mới trong chẩn đoán [12,13]. Tuy nhiên, vẫn còn một số trở ngại và cần được nghiên cứu thêm, chẳng hạn như khả năng tương phản trong điều kiện môi trường sinh lý thay đổi, độc tính tế bào và khả năng xác định mục tiêu. Do đó, ý tưởng lai ghép giữa hạt nano ferrite từ và kim loại quý ($Fe_3O_4@Ag$ hybrid nanoparticles - HNP) để tạo ra vật liệu mới được cho là một giải pháp để khắc phục những hạn chế trên. Sự tích hợp của các thành phần có tính chất khác nhau trên cùng một cấu trúc nano thích hợp làm cho chúng không những có các tính chất đặc trưng của từng thành phần tổ hợp, mà còn có thể cải thiện các tính chất đó hoặc có tính chất mới do tương tác giữa hai thành phần tổ hợp tạo nên [13,14]. Cho đến nay các công bố về vật liệu lai giữa ferrite từ Fe_3O_4 và kim loại quý (Ag) đa phần chỉ tập trung vào ứng dụng làm chất gia nhiệt trong điều trị ung thư (phương pháp quang từ - nhiệt trị). Các công bố về hệ lai này trong chẩn đoán hình ảnh y khoa còn nhiều hạn chế.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi nghiên cứu chế tạo hệ vật liệu nano y sinh cho ứng dụng làm chất tương phản kép trong chẩn đoán y khoa bằng kỹ hình chụp cộng hưởng từ (MRI) và chụp cắt lớp vi tính (CT) trên cơ sở các hạt ferrite từ và kim loại quý ($Fe_3O_4@Ag$). Các hạt nano lai $Fe_3O_4@Ag$ kỵ nước với lớp chất hoạt động bề mặt oleat được phân tán vào nước bằng cách sử dụng tác nhân chuyển pha PMAO. Vật liệu chế tạo được sẽ được nghiên cứu đánh giá khả năng làm chất tương phản T_2 và khả năng chẩn tia X trong chụp ảnh CT trong các điều kiện môi trường sinh lý khác nhau.

THỰC NGHIỆM



Hình 1: Sơ đồ tổng hợp hạt nano lai ferrite từ-kim loại quý

Tất cả các hóa sử dụng trong thí nghiệm được mua từ hãng Sigma-Aldrich, với độ tinh khiết trên 99,9% bao gồm iron(III) acetylacetonate ($Fe(acac)_3$), Iron(II) chloride tetrahydrate ($FeCl_2 \cdot 4H_2O$), silver nitrate ($AgNO_3$), sodium oleate (SOA), 1-octadecanol (OCD-ol), poly (maleic anhydride-alt-1-octadecene) (PMAO), 1-octadecene (ODE), chloroform ($CHCl_3$) sodium hydroxide (NaOH), ethanol (C_2H_5OH) và n-hexane (C_6H_{14}). Việc chế tạo các hạt nano lai giữa

ferrite từ (Fe_3O_4) và kim loại quý (Ag) cho ứng dụng y sinh trải qua ba bước như mô tả trong sơ đồ hình 1.

Bước thứ nhất, các hạt nano Fe_3O_4 được tổng hợp bằng phương pháp phân hủy nhiệt trong dung môi hữu cơ. Hỗn hợp các chất bao gồm $Fe(acac)_3$ (120 mM), $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ (60 mM), SOA (720 mM) và OCD-ol (300 mM) trong 40 mL ODE được khuấy trộn trong bình cầu ba cổ dưới dòng khí N_2 . Hỗn hợp phản ứng được khuấy ở nhiệt độ phòng trong 30 phút và ở $100^\circ C$ trong 30 phút để loại bỏ không khí và hơi nước có mặt trong phản ứng. Sau đó, nhiệt độ phản ứng được tăng lên $200^\circ C$ và hồi lưu trong 30 phút. Cuối cùng, phản ứng được gia nhiệt đến $315^\circ C$ và hồi lưu trong các khoảng thời gian khác nhau từ 30 - 120 phút. Sản phẩm thu được sau phản ứng được làm nguội từ từ đến nhiệt độ phòng. Rửa sản phẩm bằng dung môi ethanol và n-hexane sử dụng thanh từ để thu các hạt nano Fe_3O_4 .

Bước thứ hai, các hạt nano lai giữa ferrite từ (Fe_3O_4) và kim loại quý (Ag) được chế tạo bằng phương pháp nuôi mầm sử dụng các hạt nano Fe_3O_4 đã tổng hợp ở trên làm hạt mầm. Lấy 1 g $AgNO_3$, 2 g SOA và 0,6 g OCD-ol vào bình cầu ba cổ chứa 40 mL ODE. Cho tiếp 1 g các hạt nano Fe_3O_4 được phân tán trong n-hexane, hỗn hợp phản ứng được khuấy liên tục dưới dòng khí nitơ. Phản ứng được gia nhiệt đến $80^\circ C$ và giữ ở nhiệt độ này trong 30 phút để loại bỏ n-hexane. Sau đó, nâng nhiệt độ phản ứng lên $200^\circ C$ và hồi lưu trong 60 phút. Sản phẩm thu được sau phản ứng được làm nguội từ từ đến nhiệt độ phòng. Rửa sản phẩm bằng dung môi ethanol và n-hexane, sử dụng thanh từ để loại bỏ các hạt nano Ag tự do ta thu được hệ nano lai $Fe_3O_4@Ag$.

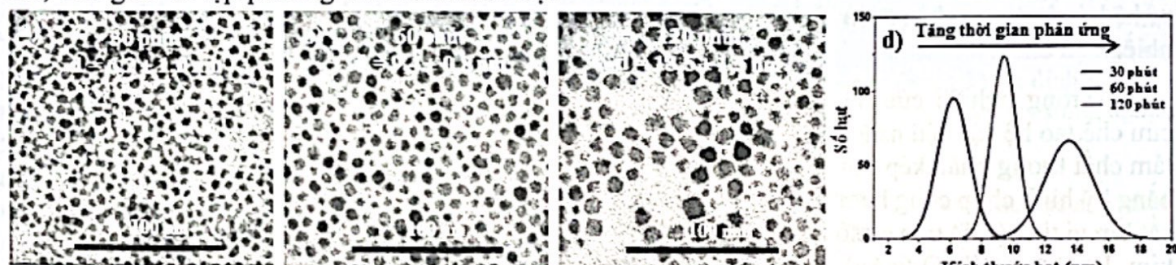
Bước thứ ba là quá trình chuyển pha các hạt nano lai $Fe_3O_4@Ag$ từ dung môi hữu cơ sang dung môi nước sử dụng tác nhân chuyển pha là PMAO và NaOH là chất thủy phân.

Các đặc tính về hình thái của vật liệu được phân tích bằng kính hiển vi điện tử truyền qua TEM (JEOL JEM-1010). Thành phần hóa học của vật liệu được kiểm tra bằng phương pháp phổ tán sắc năng lượng (EDX) trên thiết bị JEOL 6490-JED 2300. Tính chất từ của vật liệu ở nhiệt độ phòng được đo bằng từ kế mẫu rung (VSM) với từ trường lên đến 10 kOe và phương pháp quang phổ UV-Vis (JascoV-670). Hệ thống hình ảnh CT scanner 128-Somatom Perspective (Siemens, Germany) và hình ảnh MRI Siemens MAGNETOM Avanto 1,5 T được sử dụng để quét CT/MRI các mẫu.

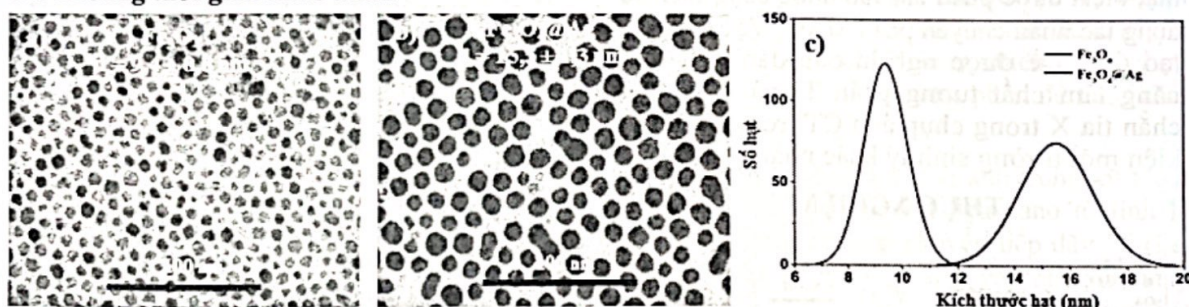
KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Ảnh hưởng của thời gian phản ứng đến hình thái và kích thước hạt nano Fe_3O_4 được nghiên cứu bằng phương pháp hiển vi điện tử truyền qua TEM như thể hiện trên hình 2. Kết quả cho thấy, mẫu được chế tạo tại 30 phút thu được các hạt Fe_3O_4 gần như hình cầu, không đồng đều, biên hạt không rõ ràng với kích thước hạt trung bình $6,2 \pm 1,0$ nm, sai số kích thước hạt trong trường hợp này lớn, đạt 16,1% (hình 2a). Khi tăng nhiệt độ phản ứng lên 60 phút thu được các hạt nano Fe_3O_4 dạng hình cầu và tựa cầu, đồng đều với kích thước hạt trung bình $9,4 \pm 0,8$ nm, sai số kích thước hạt trong trường hợp này giảm, đạt 8,5% (hình 2b). Với mẫu có nhiệt độ phản ứng là 120 phút thu được các hạt nano Fe_3O_4 không đồng đều với nhiều hình dạng khác nhau như hình cầu, tựa cầu, tam giác và lập phương với kích thước hạt

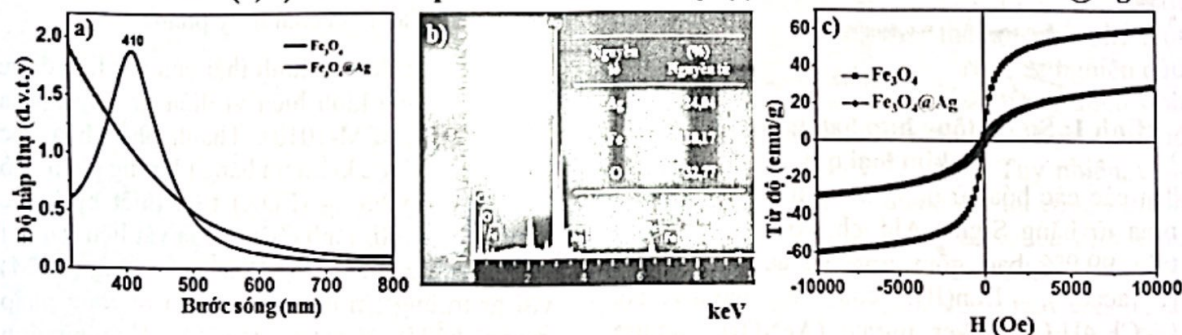
trung bình tăng và đạt $13,5 \pm 1,5$ nm, sai số kích thước hạt là 11,1% (hình 2c). Như vậy, khi nhiệt độ phản ứng tăng từ 30 đến 120 phút, thì kích thước hạt nano Fe_3O_4 tăng từ $6,2 \pm 1,0$ đến $13,5 \pm 1,5$ nm (hình 2d). Thời gian phản ứng càng dài, thì các hạt nano thu được càng lớn, đồng thời hình dạng của chúng cũng có sự thay đổi rõ rệt. Xu hướng biến đổi này xảy ra tương tự như nghiên cứu trước đây của nhóm chúng tôi [15,16]. Kết quả này có thể được giải thích bằng sự hòa tan của các hạt nano nhỏ hơn để thu được các hạt lớn hơn nhằm giảm tổng năng lượng bề mặt của các hạt trong hệ phản ứng (hiệu ứng Ostwald) [17]. Trong bộ mẫu chế tạo được, mẫu 60 phút thu được các hạt đồng đều, biên hạt rõ ràng với kích thước hạt trung bình $9,4 \pm 0,8$ nm, chúng tôi lựa chọn làm hạt mầm cho quá trình chế tạo hệ lai $Fe_3O_4@Ag$. Kết quả được trình bày trong các phần tiếp theo.



Hình 2: Ảnh TEM (a - c) và biểu đồ phân bố kích thước hạt (d) của nano Fe_3O_4 được chế tạo tại các khoảng thời gian khác nhau



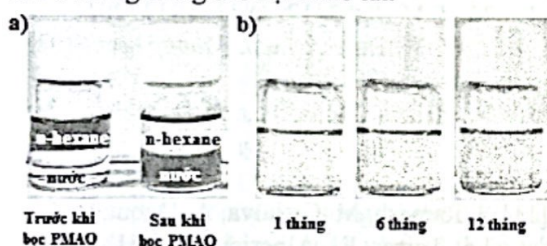
Hình 3: Ảnh TEM (a, b) và biểu đồ phân bố kích thước hạt (c) của nano Fe_3O_4 và $Fe_3O_4@Ag$



Hình 4: Phổ UV-Vis (a) và đường cong từ trễ (b) của các hạt nano Fe_3O_4 và $Fe_3O_4@Ag$, phổ EDX và thành phần hóa học của nano $Fe_3O_4@Ag$ (c)
 Hình 3 trình bày ảnh TEM và biểu đồ phân bố kích thước hạt của Fe_3O_4 (hạt mầm) và hạt nano lai $Fe_3O_4@Ag$. Nhận thấy, các hạt nano lai hình cầu với cấu trúc lõi-vỏ được hình thành từ sự kết hợp giữa Fe_3O_4 và Ag ($Fe_3O_4@Ag$) (hình 3b). Kích thước của hạt nano lai $Fe_3O_4@Ag$ ($15,5 \pm$

1,3 nm) lớn hơn kích thước của nano từ Fe_3O_4 ($9,4 \pm 0,8$ nm) (hình 3c) chứng tỏ các hạt nano từ đã được bọc hoàn toàn bằng lớp vỏ Ag. Kết quả này có thể giải thích dựa trên mô hình tăng trưởng hạt mầm: ban đầu các nguyên tử Ag lắng đọng trên bề mặt các hạt mầm Fe_3O_4 có sẵn trong hệ phân ứng, khi đó, những vị trí có các nguyên tử Ag sẽ hoạt động mạnh hơn, tạo điều kiện thuận lợi cho các nguyên tử Ag tiếp tục lắng đọng để hình thành lớp vỏ Ag đồng nhất trên bề mặt các hạt nano từ [18].

Sự hình thành cấu trúc nano lai $Fe_3O_4@Ag$ cũng được xác nhận thông qua phương pháp phổ hấp thụ phân tử UV-Vis (hình 4a). Kết quả phân tích cho thấy, trong dải bước sóng 300 - 800 nm, các hạt nano từ Fe_3O_4 không xuất hiện cực đại hấp thụ, trong khi các hạt nano lai $Fe_3O_4@Ag$ xuất hiện cực đại hấp thụ tại vị trí 410 nm. Kết quả này là do sự hình thành lớp vỏ Ag trên bề mặt các hạt nano từ Fe_3O_4 , điều này hoàn toàn phù hợp với kết quả quan sát được từ ảnh TEM (hình 3b). Ngoài ra, phân tích phổ tán sắc năng lượng (EDX) của các hạt nano lai $Fe_3O_4@Ag$ cho thấy thành phần cấu trúc lai gồm các nguyên tố chính là Ag, Fe và O với hàm lượng nguyên tử tương ứng là 24,04; 18,17; 32,77% (hình 4b). Kết quả này đã xác nhận thêm sự tồn tại của các nguyên tố Fe và Ag trong các hạt nano lai.



Hình 5: Hình ảnh dung dịch hạt nano lai $Fe_3O_4@Ag$ trước và sau khi bọc PMAO (a) và dung dịch hạt nano lai $Fe_3O_4@Ag$ sau khi bọc PMAO phân tán trong nước sau các khoảng thời gian khác nhau

Tính chất từ của vật liệu được phân tích bằng phép đo từ kế mẫu rung (VSM). Kết quả cho thấy, các hạt nano Fe_3O_4 và $Fe_3O_4@Ag$ được tổng hợp có giá trị từ hóa bão hòa (M_s) tương ứng là 61,2 và 29,6 emu/g, ở 300 K (hình 4c). Giá trị từ hóa bão hòa của các hạt nano lai $Fe_3O_4@Ag$ thấp hơn so với các hạt nano từ Fe_3O_4 do có Ag là thành phần phi từ trong cấu trúc lai. Tuy nhiên, khả năng đáp ứng từ của các hạt nano lai vẫn tương đối tốt nên chúng phù hợp cho các ứng dụng y sinh.

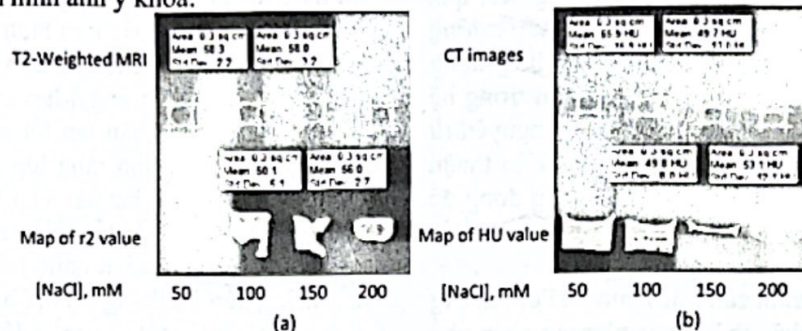
Vì các hạt nano lai $Fe_3O_4@Ag$ sau khi chế tạo bị bao phủ một lớp chất hoạt động bề mặt là các oleat nên chúng chỉ phân tán trong dung môi

hữu cơ. Để ứng dụng trong y sinh thì chúng phải phân tán được trong dung môi nước. Do đó chúng tôi thực hiện quá trình chuyển pha bằng PMAO. Kết quả được trình bày trên hình 5.

Từ hình 5a cho thấy các hạt nano lai trước khi bọc PMAO phân tán tốt trong n-hexane và sau khi bọc PMAO thì chúng phân tán tốt trong nước. Như vậy, có thể nhận định rằng lớp polymer đã bao phủ trên bề mặt các hạt nano lai $Fe_3O_4@Ag$ giúp chúng ổn định và phân tán tốt trong nước. Kết quả khảo sát độ bền của hạt nano lai trong thời gian từ 1 tháng đến 12 tháng (hình 5b) cho thấy, dung dịch vẫn phân tán tốt và tương đối ổn định, không có hiện tượng kết đám. Như vậy, hệ nano lai chế tạo được phù hợp cho các ứng dụng y sinh.

Để khám phá tiềm năng của vật liệu nano trên cơ sở các hạt ferrite từ và kim loại quý làm chất tương phản ảnh theo phương thức kép MRI/CT, mẫu $Fe_3O_4@Ag$ bọc PMAO được lựa chọn để tiếp tục nghiên cứu trong ứng dụng làm tăng độ tương phản trong chụp ảnh cộng hưởng từ MRI và chụp cắt lớp vi tính CT. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đánh giá khả năng tương phản của các hạt nano trong môi trường nước với nồng độ muối thay đổi và đặc biệt là trong điều kiện sinh học $[NaCl] \approx 156$ mM. Các giếng chụp ảnh MRI/CT được chuẩn bị với agarose để cố định mẫu. Trong các thí nghiệm chụp ảnh MRI, nồng độ hạt lai $Fe_3O_4@Ag@PMAO$ sử dụng là 45,0 $\mu\text{g/mL}$. Trong khi đó với kỹ thuật chụp ảnh CT, nồng độ $Fe_3O_4@Ag@PMAO$ là 2 mg/mL. Qua khảo sát về độ phân tán của hệ lai trong dung dịch nước có nồng độ muối từ 50 mM đến 300 mM ta thấy, mẫu phân tán tốt trong nước khi nồng độ muối lên đến 200 mM và ở nồng độ cao hơn thì mẫu đã có hiện tượng bị kết tủa. Do đó chúng tôi tiến hành chụp ảnh MRI/CT trong điều kiện nồng độ muối thay đổi từ 50 mM đến 200 mM, thu được kết quả thể hiện trong hình 6. Kết quả hình 6a cho thấy cường độ tín hiệu âm (T2-MRI) thu được không thay đổi ở các nồng độ muối nghiên cứu với cường độ tín hiệu tốt ngay tại môi trường có nồng độ muối cao (200 mM), giá trị cường độ tín hiệu âm (pixel) dao động xung quanh từ $58,3 \pm 2,2$ đến $56 \pm 2,7$ pixel. Tương tự như kỹ thuật thu nhận tín hiệu hình ảnh MRI, trong kỹ thuật ảnh CT các giá trị Hounsfield (HU) của hình ảnh thu được cũng sẽ được phân tích trực tiếp bằng phần mềm eFilm workstations (Merge Healthcare, Chicago, IL, USA) dựa trên cường độ tín hiệu của vùng quan tâm (ROI) thu được. Hình 6b cho thấy, với mức độ chắn tia X thay đổi không đáng kể khi tăng nồng độ muối lên 200 mM, với giá trị Hounsfield (HU) tương ứng $55,9 \pm 16,9$ HU tại nồng độ 50 mM và $53,1$

$\pm 12,1$ HU tại nồng độ 200 mM. Điều này cho thấy, hệ lai $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag@PMAO$ có thể sử dụng trong chẩn đoán hình ảnh y khoa.



Hình 6: a) Cường độ tín hiệu T₂-MRI và bản đồ màu r₂ tương ứng của Fe₃O₄@Ag@PMAO; b) hình ảnh CT của Fe₃O₄@Ag@PMAO và bản đồ màu tương ứng suy giảm tia X trong môi trường có nồng độ muối khác nhau.

KẾT LUẬN

Trong báo cáo này, chúng tôi đã chế tạo thành công hệ vật liệu nano y sinh trên cơ sở các hạt ferrite từ và kim loại quý ($\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$) bằng phương pháp phân hủy nhiệt kết hợp phương pháp nuôi mầm. Dữ liệu thử nghiệm *in-vitro* MRI/CT trong điều kiện mô phỏng sinh lý với nồng độ muối thay đổi cho thấy vật liệu nano lai ferrite từ-kim loại quý ($\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag$) được chế tạo có độ tương phản ảnh T₂ và đặc tính suy giảm tia X tốt, độ ổn định cao. Với những đặc tính vượt trội này, chất lỏng lai nano từ-quang $\text{Fe}_3\text{O}_4@Ag@PMAO$ chất lượng cao được điều chế trong nghiên cứu này cho thấy nhiều hứa hẹn như một ứng cử viên cho kỹ thuật hình ảnh sinh học đa phương thức trong ứng dụng thực tế.

Lời cảm ơn

Công trình này được thực hiện với sự hỗ trợ về kinh phí của đề tài độc lập cấp quốc gia mã số ĐTĐLNCN.16/23.

Tài liệu tham khảo

- [1] C. Cabal, D. Darias, E. González, A. Musacchio, *Biotechnol. Appl.*, 30, 3, 172 (2013).
- [2] W. Feng, X. Zhou, W. Nie, L. Chen, K. Qiu, *ACS Appl Mater Interfaces*, 7, 7, 4354 (2015).
- [3] S. M. Park, A. Aalipour, O. Vermesh, J. H. Yu, S. S. Gambhir, *Nat. Rev. Mater.*, 2, 5 (2017).
- [4] T. H. Shin, Y. Choi, S. Kim, J. Cheon, *Chem. Soc. Rev.*, 44, 14, 4501 (2015).
- [5] L. Li, H. M. Fan, Jing Cai, Yu Qing Miao, *Int. J. Mol. Sci.*, 19, 12, 4049 (2018).
- [6] N. Lee, D. Yoo, D. Ling, M. H. Cho, T. Hyeon, J. Cheon, *Chem. Rev.*, 115, 19, 10637–10689 (2015).
- [7] N. Singh, G. J. S. Jenkins, R. Asadi, S. H. Doak, *Nano Rev.*, 1, 1, 5358 (2010).
- [8] A. S. Thakor, J. V. Jokerst, P. Ghanouni, J. L. Campbell, E. Mittra, S. S. Gambhir, *J. Nucl. Med.*, 57, 12, 1833–1837 (2016).
- [9] J. W. M. Bulte, *Am. J. Roentgenol.*, 193, 2, 314–325 (2009).
- [10] M. Sabela, S. Balme, M. Bechelany, J. M. Janot, K. Bisetty, *Adv. Eng. Mater.*, 19, 12, 1700270 (2017).
- [11] S. Ramesh, M. Grijalva, A. Debut, B. G. De La Torre, F. Albericio, L. H. Cumbal, *Biomater. Sci.*, 4, 12, 1713–1725 (2016).
- [12] N. T. N. Linh, L. T. Tam, *Vietnam J. Sci. Technol.*, 61, 3, 394–404 (2023).
- [13] T. T. Le, *ChemistrySelect*, 7, 25, 1–10 (2022).
- [14] J. Bussink, J. H. A. M. Kaanders, W. T. A. Van Der Graaf, W. J. G. Oyen, *Nat. Rev. Clin. Oncol.*, 8, no. 4, 233–242 (2011).
- [15] N. T. N. Linh, *New J. Chem.*, 47, 8, 4052–4067 (2023).
- [16] L. T. Lu, *Nanoscale*, 7, 46, 19596–19610 (2015).
- [17] Y. Yamashita, R. Miyahara, K. Sakamoto, *Elsevier Inc*, 12 (2017), 2017.
- [18] Q. Ding, *Biomaterials*, 124, 35–46 (2017).

**HỘI NGHỊ VẬT LÝ CHẤT RẮN
VÀ KHOA HỌC VẬT LIỆU
TOÀN QUỐC LẦN THỨ XIII
TUYỂN TẬP BÁO CÁO QUYỂN 2**

NHÀ XUẤT BẢN BÁCH KHOA HÀ NỘI
1 – Đại Cồ Việt – Hai Bà Trưng – Hà Nội
VPGD: Ngõ 17 – Tạ Quang Bửu – Hai Bà Trưng – Hà Nội
ĐT: (84.24) 3868 4569; Fax: (84.24) 3868 4570

<https://nxbbachkhoa.vn>

-----***-----

Chịu trách nhiệm xuất bản

Giám đốc – Tổng biên tập: TS. BÙI ĐỨC HÙNG

Biên tập: ĐỖ THANH THÙY, VŨ THỊ HẰNG
Sửa bản in: VŨ NGỌC PHAN
Trình bày bìa: DƯƠNG HOÀNG ANH

In 170 cuốn khổ (21 × 29,7) cm tại Công ty Cổ phần In và Dịch vụ văn phòng
Tân Đại Việt, 16 Chùa Láng, Láng Thượng, Đống Đa, Hà Nội.

Số xuất bản: 3328-2023/CXBIPH/28-60/BKHN; ISBN: 978-604-471-703-6.

Số QĐXB: 957/QĐ – ĐHBK – BKHN ngày 30/10/2023.

In xong và nộp lưu chiểu quý IV năm 2023.

ISBN: 978-604-471-703-6



9 786044 717036

SÁCH KHÔNG BÁN