

NGHIÊN CỨU TỔNG HỢP HẠT NANO BẠC SỬ DỤNG HỖN HỢP CHIẾT XUẤT HOA ĐẬU BIẾC (*Clitoria ternatea*) VÀ LÁ CẨM TÍM (*Gynura aurantiaca*) BẰNG PHƯƠNG PHÁP XANH

Đến tòa soạn 16-10-2024

Dương Thị Thu¹, Lê Đức Hiếu², Trịnh Thị Huế³, Lưu Thị Lan Anh¹, Lê Mạnh Cường^{2*}

¹Khoa Vật lý Kỹ thuật, Đại học Bách Khoa Hà Nội

²Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

³Khoa Điện tử Viễn thông, Trường Đại học Điện lực, 235 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội

*Email: cuonglm@huce.edu.vn

SUMMARY

STUDY ON THE SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING A MIXTURE OF BUTTERFLY PEA FLOWER (*Clitoria ternatea*) AND PURPLE ROSE LEAF (*Gynura aurantiaca*) EXTRACTS USING THE GREEN METHOD

In this study, the green synthesis of silver nanoparticles (AgNP) using mixed aqueous extract of *Clitoria ternatea* flowers and *Peristrophe roxburghiana* leaves as reducing, capping, and stabilizing agents was implemented. The parameters such as the ratio of volume between the two extracts solution, reaction temperature, and reaction time, influenced with the formation process and size of silver nanoparticles. The ultraviolet-visible spectroscopy (UV-Vis) analysis showed a maximum absorption peak such as a characteristic surface plasmon resonance (SPR) peak of AgNP in the 438 – 447 nm range and diameters from 20 to 22 nm. X-ray diffraction (XRD) analysis confirmed the crystalline nature of the face-centered cubic (FCC) structure of AgNPs. Fourier transforms infrared (FTIR) analysis revealed the functional groups in the solution participated in the process of nanoparticles.

Keywords: *Clitoria ternatea*, green synthesis, *Peristrophe roxburghiana*, silver nanoparticles.

1. Giới thiệu

Do các tính chất vượt trội của mình, hạt nano bạc ngày càng được sử dụng cho các mục đích khác nhau bao gồm kháng khuẩn [1], nông nghiệp [2], quang xúc tác [3], thực phẩm [4] và y tế [5]. Để đáp ứng nhu cầu sử dụng, AgNP đã được tổng hợp bằng nhiều phương pháp khác nhau như phương pháp vật lý, hóa học, sinh học. Năm 2015, M.Alva và cộng sự đã tổng hợp hạt nano bạc bằng phương pháp chiếu xạ laser trong ethanol, kích thước trung bình của AgNP xác định được khoảng 11,8 nm [6]. H.Wanga và cộng sự

đã nghiên cứu và tổng hợp thành công AgNP bằng cách khử bạc nitrat từ glucose với sự có mặt của PVP, đường kính hạt nằm trong khoảng từ 20 đến 80 nm [7]. Các hạt nano bạc được sinh tổng hợp bởi H.Gandhi và S.Khan vào năm 2016 [8]. Tổng hợp hạt nano bạc bằng phương pháp khử hóa học với sự tham gia của acid citric và amoni hydroxit được nghiên cứu bởi Kamali và cộng sự [9], v.v... Tuy nhiên, các phương pháp vật lý, hóa học thường có nhược điểm là đắt tiền và sử dụng nhiều hóa chất gây ô nhiễm môi trường [10]. Gần đây, phương pháp xanh

được áp dụng để tổng hợp AgNP vì có nhiều ưu điểm, điển hình là tiết kiệm chi phí, thân thiện với môi trường, dễ tổng hợp trên quy mô lớn và sử dụng các hóa chất thân thiện môi trường [11].

Các chất chiết xuất từ thực vật có thể đóng vai trò là chất khử, chất tạo phức và chất ổn định cho sự hình thành các hạt nano, thay thế việc sử dụng các chất hóa học không thân thiện môi trường [11]. Nhóm nghiên cứu hướng đến mục tiêu lựa chọn những thực vật thường sử dụng ở Việt Nam đặc biệt nhóm thực vật sử dụng trong thực phẩm. Nhóm đã nghiên cứu tổng hợp hạt nano bạc với dịch chiết lá cẩm tím và tổng hợp hạt nano đồng sử dụng dịch chiết hoa đậu biếc. Với mục tiêu hướng tới sử dụng các chất sinh học trong hai dịch chiết để tổng hợp hạt nano bạc nên chúng tôi đã sử dụng hỗn hợp hai dịch chiết để khảo sát sự hình thành của hạt nano bạc [21]. Nhiều bài báo nghiên cứu đã chỉ ra rằng hạt nano bạc đã được tổng hợp thành công bằng chiết xuất thực vật (rễ, lá, hạt, hoa), chẳng hạn như tổng hợp AgNP bằng chiết xuất rễ cây *Berberis asiatica* của Subas Dangi vào năm 2020 [12]. Tổng hợp thành công hạt nano bạc bằng chiết xuất lá ôliu của M.Khalil và cộng sự [13]. Năm 2019, Akhil Rautela và cộng sự đã tổng hợp thành công AgNP từ chiết xuất hạt *Tectona grandis* [14]. Tổng hợp xanh các hạt nano bạc sử dụng chiết xuất hoa *Abelmoschus esculentus* được S.Devanesan nghiên cứu vào năm 2021 [14] v.v...

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã tổng hợp thành công hạt nano bạc bằng hỗn hợp chiết xuất hoa đậu biếc (*Clitoria ternatea*) và lá cẩm tím (*Gynura aurantiaca*), đồng thời khảo sát các thông số ảnh hưởng đến quá trình hình thành hạt nano bạc.

2. Thực nghiệm

2.1. Hóa chất sử dụng

Bột hoa đậu biếc và bột lá cẩm tím là sản phẩm thương mại của Việt Nam (Công Ty Cổ phần Chợ Quê Việt Nam). Bạc nitrat (AgNO_3) có độ tinh khiết tới 99,8% của hãng Xilong, Trung Quốc. Nước cất thu được từ hệ Aquatron A4000D sử dụng làm dung môi trong suốt quá trình tổng hợp.

2.2. Chiết xuất thực vật

Cho từ từ 0,02 g bột hoa đậu biếc vào cốc thủy tinh có chứa sẵn 20 mL nước cất, khuấy từ với tốc độ khuấy 700 vòng/phút trong khoảng 5 phút ở nhiệt độ phòng. Sau khi kết thúc quá trình chiết dùng giấy lọc để lọc bỏ phần cặn, thu được chiết xuất hoa đậu biếc có màu xanh tím.

Tương tự, cân 0,02 g bột lá cẩm tím cho từ từ vào cốc thủy tinh có chứa sẵn 20 mL nước cất, khuấy từ với tốc độ khuấy 700 vòng/phút trong khoảng 5 phút ở nhiệt độ phòng. Sau khi kết thúc quá trình chiết dùng giấy lọc để lọc bỏ phần cặn, thu được chiết xuất lá cẩm tím có màu tím đỏ.

2.3. Tổng hợp AgNP

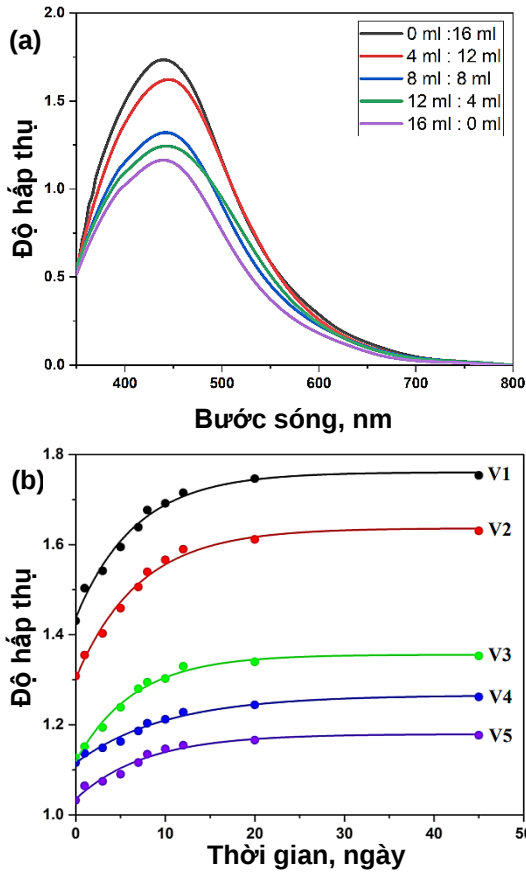
Cho từ từ 8 mL dung dịch AgNO_3 5 mM vào cốc thủy tinh có chứa 16 mL hỗn hợp gồm V_1 mL dịch chiết hoa đậu biếc và V_2 mL dịch chiết lá cẩm tím, đồng thời khuấy với tốc độ 700 vòng/phút bằng máy khuấy từ. Sau đó gia nhiệt tới nhiệt độ $T^\circ\text{C}$ và khuấy liên tục trong t phút. Kết thúc quá trình tổng hợp, dung dịch chuyển sang màu vàng nâu. Ly tâm lấy kết tủa và sấy khô, cuối cùng thu được hạt nano bạc.

2.4. Các phép đo đặc và phân tích

Phổ hấp thụ UV-Vis được đo sử dụng hệ quang phổ Carry 100 UV-Vis (VARIAN). Cấu trúc tinh thể và pha thu được bằng phân tích nhiễu xạ tia X mẫu bột sử dụng hệ đo X'pert Pro (PANalytical) MPD với $\text{CuK}\alpha_1$ ($= 1,54056 \text{ \AA}$) ở tốc độ quét $0,03^\circ/2s$ trong khoảng 2θ từ 25° đến 80° . Phổ FTIR được đo bằng máy FT/IR-

4600typeA (JASCO) với số sóng từ 500 cm^{-1} đến 4000 cm^{-1} .

3. Kết quả và thảo luận



Hình 1. (a) Phổ hấp thụ UV-vis của AgNP phụ thuộc vào tỉ lệ giữa hai loại dịch chiết.

(b) Đồ thị biểu diễn sự ảnh hưởng của thời gian lưu mẫu đến cường độ đỉnh hấp thụ cực đại.

Hình 1a là kết quả đo phổ hấp thụ UV-Vis của các mẫu AgNP được hình thành phụ thuộc vào tỉ lệ giữa dịch chiết hoa đậu biếc và lá cẩm tím. Phổ hấp thụ UV-vis cho thấy rằng có sự hình thành AgNP với đỉnh hấp thụ cực đại nằm trong khoảng bước sóng từ 438 đến 445 nm [15] [16]. Khi cho lượng thể tích dịch chiết lá cẩm tím nhiều hơn thể tích dịch chiết hoa đậu biếc thì peak hấp thụ cực đại có xu hướng tăng. Cụ thể, cường độ peak này tăng từ 1,16 đến 1,74.

Từ phổ hấp thụ UV-vis, ta có thể tính kích thước hạt thông qua công thức sau.

$$d = \frac{h\nu_f}{\pi\Delta E_{1/2}} \quad (1)$$

Trong đó, d là đường kính của hạt nano (nm), h là hằng số Planck, ν_f ($1,39 \times 10^6$ m/giây) là vận tốc Fermi và $\Delta E_{1/2}$ là năng lượng của độ bán rộng vạch phổ (FWHM) của dải hấp thụ [17].

Kích thước AgNP được tính theo phương trình (1) thể hiện chi tiết trong bảng 1.

Bảng 1. Kích thước hạt nano bạc phụ thuộc vào tỉ lệ giữa hai loại dịch chiết.

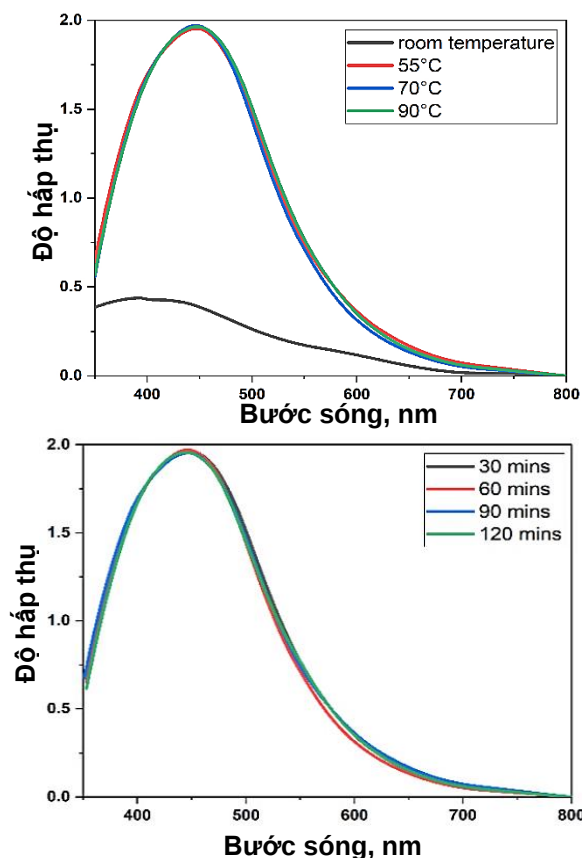
Mẫu	Đỉnh SPR (nm)	FWHM (nm)	$\Delta E_{1/2}$ (eV)	d (nm)
V1	440	141	0,088	20,8
V2	445	146	0,085	21,5
V3	443	145	0,086	21,3
V4	442	140	0,089	20,6
V5	438	136	0,091	20,1

Với từng mẫu AgNP khác nhau ta thu được kích thước hạt khác nhau, kích thước hạt trong khoảng 20,1 nm đến 21,5 nm. Qua kết quả phân tích và tính toán, mẫu V1 cho đỉnh hấp thụ cực đại cao nhất. Mặc dù vậy, với mục tiêu tổng hợp AgNP từ hỗn hợp dịch chiết hoa đậu biếc và lá cẩm tím, vì vậy chọn tỉ lệ giữa dịch chiết hoa đậu biếc và dịch chiết lá cẩm tím là 4 mL: 12 mL để khảo sát các thông số tiếp theo.

Để kiểm tra sự hình thành, phát triển và ổn định của AgNP, ảnh hưởng của thời gian lưu mẫu đã được khảo sát tương ứng 0 ngày, 1 ngày, 3 ngày, 5 ngày, 7 ngày, 8 ngày, 10 ngày, 12 ngày, 20 ngày và 45 ngày. Từ hình 1b, ta thấy được cường độ đỉnh hấp thụ cực đại của AgNP tăng nhanh trong 12 ngày đầu và tăng chậm sau 20 ngày. Ngoài ra, vạch phổ có xu hướng mở rộng theo thời gian lưu mẫu. Điều này có nghĩa là thời gian lưu mẫu càng lâu thì số hạt nano bạc tạo ra càng nhiều. Theo thời gian, các hạt nano bạc va chạm và kết dính lại với nhau dẫn đến kích thước AgNP lên. Tuy nhiên, đến một

thời gian lưu mẫu nhất định, mẫu sẽ bão hòa và cường độ đỉnh hấp thụ cực đại không tăng thêm nữa. Từ đồ thị *hình 1b*, chọn thời gian lưu mẫu tối ưu là 20 ngày.

Nhiệt độ phản ứng có ảnh hưởng lớn đến sự hình thành các hạt nano bạc. Qua phân tích phổ hấp thụ UV-Vis trên *hình 2a*, ta thấy rằng đối với mẫu T1, nhiệt độ phản ứng là nhiệt độ phòng ($30\pm 2^\circ\text{C}$), kết quả cho thấy không có sự hình thành AgNP, đồng thời dung dịch không chuyển màu. Khi tăng nhiệt độ từ 55°C đến 90°C , tương ứng với các mẫu T2, T3 và T4, màu sắc của dung dịch chuyển dần sang vàng nâu, đồng thời xuất hiện đỉnh hấp thụ cực đại, chứng tỏ có sự hình thành AgNP.



Hình 2. (a) Phổ hấp thụ UV-vis của AgNP phụ thuộc vào nhiệt độ phản ứng.

(b) Phổ hấp thụ UV-vis của AgNP phụ thuộc vào thời gian phản ứng.

Khi tăng nhiệt độ, cường độ peak hấp thụ cực đại cũng tăng lên và có xu hướng mở

rộng hơn và chuyển về bước sóng dài. Điều này được giải thích là do sự gia tăng nhiệt làm động năng tăng, dẫn đến tốc độ phản ứng nhanh hơn, lượng AgNP hình thành càng nhiều. Ở nhiệt độ phòng, phản ứng tạo thành AgNP không diễn ra, có thể quy cho nhiệt độ quá thấp nên không đủ điều kiện để xảy ra phản ứng chuyển Ag^+ thành Ag^0 . Sau 20 ngày lưu mẫu, cường độ đỉnh hấp thụ cực đại ở các mẫu T2, T3, T4 gần như bằng nhau và không tăng thêm nữa (*hình 2a*). Cường độ đỉnh hấp thụ cực đại sau khi mẫu đã bắt đầu ổn định là 1,96 nằm ở bước sóng khoảng 447 nm. Kích thước hạt nano bạc tính theo công thức (1) là 22 nm.

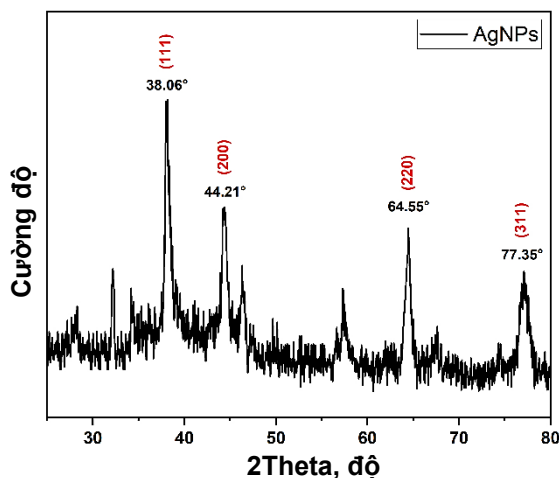
Thời gian phản ứng cũng là một yếu tố quan trọng trong quá trình tổng hợp hạt nano bạc. Trước lúc mẫu ổn định, khi tăng thời gian phản ứng, cường độ đỉnh hấp thụ cực đại tăng lên, điều này có nghĩa là thời gian phản ứng càng lâu thì số lượng hạt nano bạc tạo ra càng nhiều. Kết quả khảo sát sự phụ thuộc vào thời gian phản ứng bằng phổ hấp thụ UV-vis được mô tả như *hình 2b* với thời gian lưu mẫu là 20 ngày. Phân tích phổ hấp thụ UV-vis cho thấy, sau khi ổn định, cường độ đỉnh cực đại của các mẫu M1, M2, M3 và M4 gần như bằng nhau và không tăng thêm nữa. Đỉnh hấp thụ cực đại có cường độ 1,94 nằm ở bước sóng khoảng 445 nm. Kích thước hạt nano bạc tính theo công thức (1) là 21,8 nm. Sau khi mẫu đã dần ổn định và gần như đạt đến độ bão hòa, lượng Ag^+ không sinh ra nữa, tất cả các mẫu khảo sát đều cho cường độ đỉnh hấp thụ cực đại gần như nhau, nên chọn thời gian phản ứng 30 phút là thời gian tối ưu cho quá trình tổng hợp để hình thành AgNP.

Phân tích nhiễu xạ tia X nhằm xác định cấu trúc pha tinh thể của các hạt nano bạc được tổng hợp bằng phương pháp xanh sử dụng hỗn hợp dịch chiết hoa đậu biếc và lá cam tím làm chất khử cũng như chất ổn

định. Từ các mặt tinh thể, tính được kích thước hạt nano bạc tương ứng.

Hình 3 là giản đồ nhiễu xạ tia X của mẫu có tỉ lệ giữa dịch chiết hoa đậu biếc và dịch chiết lá cẩm tím là 4 mL: 12 mL với nhiệt độ phản ứng là 55°C và thời gian phản ứng là 30 phút, tương ứng với mẫu M1.

Kết quả nhiễu xạ tia X ở hình 3 cho thấy sự xuất hiện của các đỉnh cực đại nhiễu xạ ở các góc 2θ lần lượt là 38,06°; 44,21°, 64,55° và 77,35°, tương ứng với các các mặt tinh thể (111), (200), (220) và (311), là cấu trúc lập phương tâm mặt (FCC). Các đỉnh được hình thành phù hợp với dữ liệu chuẩn JCPDS 04-783. Các đỉnh cực đại nhiễu xạ còn lại có thể là các thành phần hữu cơ còn dư lại trong hỗn hợp.



Hình 3. Giản đồ nhiễu xạ tia X của AgNP.

Từ giản đồ nhiễu xạ tia X, kích thước trung bình của AgNP theo từng mặt tinh thể được tính bởi phương trình Scherrer:

$$d = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} = \frac{0,9\lambda \times 180^\circ}{\beta \pi \cos \theta} \quad (2)$$

Trong đó, d là kích thước hạt trung bình theo mặt tinh thể, K là hằng số (0.9), λ là bước sóng tia X (0,154056 nm), β là độ bán mở rộng vạch và θ là góc nhiễu xạ Bragg [18]. Kết quả tính toán được mô tả chi tiết như trong bảng 2.

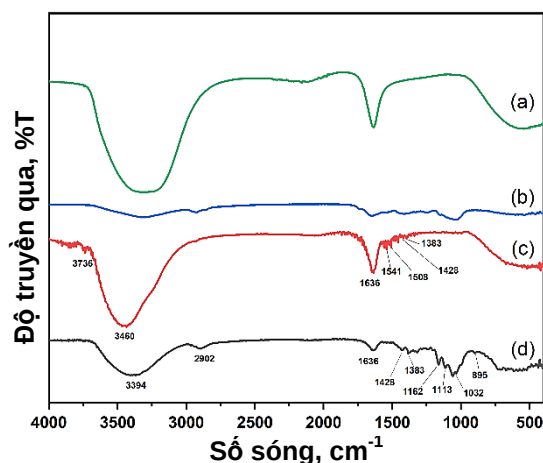
Bảng 2. Kết quả tính kích thước AgNP theo mặt tinh thể.

2θ (°)	β (nm)	(hkl)	d (nm)
38,06	0,397	(111)	21,2
44,21	0,385	(200)	21,8
64,55	0,428	(220)	19,6
77,35	0,483	(311)	18,4
Kích thước tinh thể trung bình			20,25

Từ kết quả tính toán ở bảng trên, kích thước hạt nano bạc nằm trong khoảng từ 18,39 đến 21,82 nm. Kết quả phân tích nhiễu xạ tia X đã chứng minh rằng hạt nano bạc được tổng hợp thành công từ tiền chất muối bạc nitrat và hỗn hợp dịch chiết hoa đậu biếc và lá cẩm tím như tác nhân khử và tác nhân ổn định.

Phổ hồng ngoại biến đổi Fourier - FTIR cho biết các nhóm chức đặc trưng có trong dung dịch, nhằm xác định các liên kết và nhóm chức tham gia vào quá trình tổng hợp AgNP. Kết quả phân tích phổ FTIR của mẫu M1 (hình 4) cho thấy rằng sau phản ứng, các đỉnh tại các số sóng 3736 cm⁻¹, 1541 cm⁻¹ và 1508 cm⁻¹ biến mất, chứng tỏ liên kết O-H trong ancol và liên kết O-N-O trong hợp chất nitro có tham gia vào quá trình hình thành AgNP. Đỉnh có số sóng 3460 cm⁻¹ dịch chuyển thành 3394 cm⁻¹ là liên kết N-H trong amin bậc một.

Một số liên kết không tham gia vào phản ứng gồm liên kết C=C trong anken, liên kết O-H trong acid cacboxylic, liên kết O-H trong phenol. Sau phản ứng, dung dịch chứa AgNPs xuất hiện một số liên kết mới của nhóm chức anken (2902 cm⁻¹ và 895 cm⁻¹), este (1162 cm⁻¹), ancol bậc 2 (1113 cm⁻¹) và anhydrit (1032 cm⁻¹) [18-20]. Các kết quả này, một lần nữa khẳng định thành phần hữu cơ trong hỗn hợp chiết xuất hoa đậu biếc và lá cẩm tím là chất khử và chất ổn định.



Hình 4. Phổ FTIR của (a) bột hoa đậu biếc; (b) bột lá cẩm tím; (c) hỗn hợp chiết xuất hoa đậu biếc và lá cẩm tím; (d) AgNP sử dụng hỗn hợp chiết xuất.

4. Kết luận

Hạt nano bạc sinh tổng hợp từ hỗn hợp chiết xuất hoa đậu biếc và lá cẩm tím thân thiện với môi trường và tiết kiệm chi phí. Hỗn hợp chiết xuất này vừa là chất khử ion Ag^+ thành nano bạc Ag^0 , vừa là chất ổn định, do đó AgNP đã được tổng hợp thành công. Hạt nano bạc có pha tinh thể phương tâm mặt, đỉnh plasmonic cực đại duy nhất ở khoảng bước sóng 438–447 nm và kích thước tinh thể trung bình khoảng 20,25 nm.

Acknowledgments

Công trình này được Bộ Giáo dục và Đào tạo hỗ trợ theo số tài trợ B2023-BKA-04.

Tài liệu tham khảo

- [1] T. Bruna, F. Maldonado-Bravo, P. Jara, and N. Caro, “Silver nanoparticles and their antibacterial applications,” *Int. J. Mol. Sci.*, **vol. 22**, **no. 13**, 2021, doi: 10.3390/ijms22137202.
- [2] S. K. Kale, G. V. Parishwad, A. S. N. Husainy, and A. S. Patil, “Emerging Agriculture Applications of Silver Nanoparticles,” *ES Food Agrofor.*, pp. 17–22, 2021, doi: 10.30919/esfaf438.
- [3] N. Chouhan, ‘Silver Nanoparticles - Fabrication, Characterization and Applications’, *chapter*, pp. 21–58,

2018, doi: 10.5772/intechopen.71247.

- [4] A. Istiqola and A. Syafiuddin, “A review of silver nanoparticles in food packaging technologies: Regulation, methods, properties, migration, and future challenges,” *J. Chinese Chem. Soc.*, **vol. 67**, **no. 11**, pp. 1942–1956, 2020, doi: 10.1002/jccs.202000179.
- [5] A. C. Burduş el, O. Gherasim, A. M. Grumezescu, L. Mogoantă, A. Fica, and E. Andronescu, “Biomedical applications of silver nanoparticles: An up-to-date overview,” *Nanomaterials*, **vol. 8**, **no. 9**, pp. 1–24, 2018, doi: 10.3390/nano8090681.
- [6] M. A. Valverde-Alva, *et al.*, “Synthesis of silver nanoparticles by laser ablation in ethanol: A pulsed photoacoustic study,” *Appl. Surf. Sci.*, **vol. 355**, pp. 341–349, 2015, doi: 10.1016/j.apsusc.2015.07.133.
- [7] H. Wang, X. Qiao, J. Chen, and S. Ding, “Preparation of silver nanoparticles by chemical reduction method,” *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, **vol. 256**, **no. 2–3**, pp. 111–115, 2005, doi: 10.1016/j.colsurfa.2004.12.058.
- [8] H. Gandhi and S. Khan, “Biological Synthesis of Silver Nanoparticles and Its Antibacterial Activity,” *J. Nanomed. Nanotechnol.*, **vol. 07**, **no. 02**, pp. 2–4, 2016, doi: 10.4172/2157-7439.1000366.
- [9] Kamali, Mahdi, Ghorashi, Sayed Ali Akbar Asadollahi, Mohammad Ali “Controllable synthesis of silver nanoparticles using citrate as complexing agent - characterization of nanoparticles and effect of pH on size” *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, **vol. 31**, **no. 4**, pp. 21–28, 2012.
- [10] X. F. Zhang, Z. G. Liu, W. Shen, and S. Gurunathan, “Silver nanoparticles: Synthesis, characterization, properties, applications, and therapeutic approaches,” *Int. J. Mol. Sci.*, **vol. 17**, **no. 9**, 2016, doi: 10.3390/ijms17091534.

- [11] J. Singh, T. Dutta, K. H. Kim, M. Rawat, P. Samddar, and P. Kumar, “‘Green’ synthesis of metals and their oxide nanoparticles: Applications for environmental remediation,” *J. Nanobiotechnology*, **vol. 16, no. 1**, pp. 1–24, 2018, doi: 10.1186/s12951-018-0408-4.
- [12] S. Dangi, A. Gupta, D. K. Gupta, S. Singh, and N. Parajuli, “Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous root extract of *Berberis asiatica* and evaluation of their antibacterial activity,” *Chem. Data Collect.*, **vol. 28**, 2020, doi: 10.1016/j.cdc.2020.100411.
- [13] M. M. H. Khalil, E. H. Ismail, K. Z. El-Baghdady, and D. Mohamed, “Green synthesis of silver nanoparticles using olive leaf extract and its antibacterial activity,” *Arab. J. Chem.*, **vol. 7, no. 6**, pp. 1131–1139, 2014, doi: 10.1016/j.arabjc.2013.04.007.
- [14] A. Rautela, J. Rani, and M. Debnath (Das), “Green synthesis of silver nanoparticles from *Tectona grandis* seeds extract: characterization and mechanism of antimicrobial action on different microorganisms,” *J. Anal. Sci. Technol.*, **vol. 10, no. 1**, 2019, doi: 10.1186/s40543-018-0163-z.
- [15] S. Arokiyaraj, S. Vincent, M. Saravanan, Y. Lee, Y. K. Oh, and K. H. Kim, “Green synthesis of silver nanoparticles using *Rheum palmatum* root extract and their antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*,” *Artif. Cells, Nanomedicine Biotechnol.*, **vol. 45, no. 2**, pp. 372–379, 2017, doi: 10.3109/21691401.2016.1160403.
- [16] H. M. Esfanddarani, A. A. Kajani, and A. K. Bordbar, “Green synthesis of silver nanoparticles using flower extract of *Malva sylvestris* and investigation of their antibacterial activity,” *IET Nanobiotechnology*, **vol. 12, no. 4**, pp. 412–416, 2018, doi: 10.1049/iet-nbt.2017.0166.
- [17] L. A. L. Thi *et al.*, “Green synthesis of Ag@AgCl nanoparticles using purple Cam leaf: characterization and catalytic activity,” *Bull. Mater. Sci.*, **vol. 46, no. 3**, 2023, doi: 10.1007/s12034-023-02968-6.
- [18] X. Liang, L. Gao, S. Yang, and J. Sun, “Facile synthesis and shape evolution of single-crystal cuprous oxide,” *Adv. Mater.*, **vol. 21, no. 20**, pp. 2068–2071, May 2009, doi: 10.1002/adma.200802783.
- [19] D. Preetha, R. Arun, P. Kumari, and C. Aarti, “Synthesis and characterization of silver nanoparticles using cannonball leaves and their cytotoxic activity against MCF-7 cell line,” *J. Nanotechnol.*, **vol. 2013**, pp. 1–5, 2013.
- [20] A. Fadlelmoula, D. Pinho, V. H. Carvalho, S. O. Catarino, and G. Minas, “Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy to Analyse Human Blood over the Last 20 Years: A Review towards Lab-on-a-Chip Devices,” *Micromachines*, **vol. 13, no. 2**, 2022, doi: 10.3390/mi13020187.
- [21] L. A. L. Thi *et al.*, “Green synthesis of Ag@AgCl nanoparticles using purple Cam leaf: characterization and catalytic activity,” *Bull. Mater. Sci.*, **vol. 46, no. 3**, 2023, doi: 10.1007/s12034-023-02968-6.