

Thống kê một số phương pháp tiếp cận xanh chế tạo và đánh giá khả năng kháng khuẩn của các hạt nano Ag NPs

Tạ Ngọc Dũng^{1*}

Trường Hóa và Khoa học Sự sống, Đại học Bách Khoa Hà Nội

TỪ KHOA

Nano bạc
Ag NPs
Khử khuẩn
Khử nấm
Phương pháp xanh
Chiết xuất thực vật

TÓM TẮT

Một số phương pháp xanh chế tạo các hạt nano bạc (Ag NPs) đi từ chiết xuất thực vật được thống kê trong khảo sát này. Chiết xuất thực vật (lá ổi, lá lô hội, hạt Jatropha (*J. curcas*) hay cánh ong mật,...) được sử dụng trong chế tạo Ag NPs làm chất khử Ag⁺ từ nguyên liệu đầu muối bạc nitrat thành Ag và ổn định các hạt nano trong quá trình phát triển. Phương pháp hóa học ướt đơn giản đi từ bazơ hữu cơ như triethyl amine, pyridine, glucose chế tạo các hạt nano Ag NPs không bị nhiễm bẩn để ổn định cũng là một trong các phương pháp tiếp cận xanh chế tạo vật liệu hạt nano Ag NPs. Các phương pháp đo đặc tính vật liệu được đưa ra thảo luận như UV-vis, XRD, SEM, khảo sát tính kháng khuẩn, kháng nấm. Các hạt nano Ag NPs chế tạo được có kích thước hạt nano-mét 10-70 nm, có hình dáng hạt hình cầu và có tính chất kháng khuẩn, kháng nấm rất tốt, triển vọng để khai thác lĩnh vực ứng dụng AgNPs trong Nông nghiệp kiểm soát mầm bệnh, ứng dụng được phẩm và y sinh học khác nhau. Thống kê này để mở rộng và sâu hơn cho các nghiên cứu tiếp theo về vật liệu nano Ag NPs với nhiều ứng dụng hữu ích thú vị này.

KEYWORDS

Nano silver
Ag NPs
Antibacterial
Antifungal
Green method
Plant extract

ABSTRACT

Some green methods for the preparation of silver nanoparticles (Ag NPs) from plant extracts are listed in this review. Plant extracts (guava leaves, aloe vera leaves, Jatropha seeds (*J. curcas*) or honeybee wings,...) are used in the fabrication of Ag NPs as a reducing agent for Ag⁺ (from silver nitrate salt) to Ag and to stabilize the nanoparticles during the development process. Simple wet chemical method from organic bases such as triethyl amine, pyridine, glucose to fabricate stable and pollution-free Ag NPs nanoparticles is also one of the green approaches to fabricate Ag NPs nanoparticles. Methods for measuring material properties are discussed such as UV-vis, XRD, SEM, antibacterial and antifungal properties. The fabricated Ag NPs nanoparticles have a nanometer particle size of 10-70 nm, have a spherical particle shape and have very good antibacterial and antifungal properties, promising to exploit the application field of AgNPs in agriculture to control pathogens, various pharmaceutical and biomedical applications. This statistic is to expand and deepen further studies on Ag NPs nanomaterials with many interesting useful applications.

1. Giới thiệu

Trong số các hạt nano kim loại, hạt nano bạc nổi tiếng trong các lĩnh vực như khoa học dược phẩm, mỹ phẩm và lớp phủ kháng khuẩn. Nhờ đặc tính kháng khuẩn đặc biệt của mình, các hạt nano bạc có hiệu quả cao đối với các vi sinh vật kháng nhiều loại thuốc [1-6]. Các đặc tính của vật liệu nano bao gồm kích thước hạt, hình thái và tính đồng nhất, là những yếu tố then chốt trong các ứng dụng y sinh học [7,8]. Hiện nay, ngày càng có nhiều nghiên cứu dành riêng cho việc tổng hợp các hạt nano sử dụng các phương pháp tổng hợp hóa học, vật lý và xanh [9,10]. Trong đó, phương pháp phổ biến được sử dụng là tổng hợp xanh các hạt nano do tiết kiệm chi phí và cải thiện sự an toàn cho sức khỏe con người và môi trường [11,12]. Tổng hợp xanh cho kim loại ở cấp độ nano bao gồm hai bước chính. Đầu tiên và quan trọng nhất, chuẩn bị chiết xuất từ các sinh vật ở 90 °C trong khoảng một giờ

và điều chỉnh pH, sau đó chiết xuất được thêm vào muối kim loại hoặc dung dịch và ủ ở 28 °C trong khoảng 30 phút Trong phản ứng này, chiết xuất đóng vai trò là chất khử, khử các hạt kim loại [11,12]. Vi sinh vật, thực vật, nấm, nhện và một số loài côn trùng phần lớn được khai thác để tổng hợp xanh [13-16]. Chiết xuất từ các loại thực vật khác nhau tạo ra các hạt nano bạc với kích thước và hoạt tính sinh học khác nhau. Để đạt được các ứng dụng của chúng trong lĩnh vực y sinh, các nghiên cứu đã phát triển hướng tích cực đi từ các chiết xuất có lợi cho sức khỏe con người bao gồm như: chiết xuất lá ổi (được biết đến trong y học cổ truyền để điều trị đau dạ dày, tiểu đường và tiêu chảy) chứa các hợp chất như axit gallic, quercetin, morin, catechin và rutin-flavonoid thích hợp để tổng hợp các hạt nano bạc. Mặt khác, khả năng tương thích sinh học cao với cơ thể con người và nguồn cung lớn, sẵn có khiến chiết xuất lá ổi trở thành lựa chọn phổ biến để tổng hợp các hạt nano bạc ở nhiều quốc gia [16,17]; sử dụng chiết xuất hạt *J. curcas* (hạt

*Liên hệ tác giả: dung.tangoc@hust.edu.vn

Nhận ngày 09/07/2025, sửa xong ngày 29/07/2025, chấp nhận đăng ngày 30/07/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2025.1042>

Jatropha) trong nước và không sử dụng hóa chất độc hại làm chất khử và chất ổn định trong quá trình tổng hợp (*J. curcas* là một cây có tầm quan trọng kinh tế đáng kể vì đạt được 40-50 % dầu từ hạt được gọi là biocrude có thể được chuyển đổi thành biodiesel). Nghiên cứu hiện tại của chúng tôi cho thấy rằng chiết xuất hạt trong nước của *J. curcas* có thể được sử dụng để khử Ag^+ thành Ag và ổn định các hạt trong quá trình phát triển. Người ta cũng đã chỉ ra rằng kích thước của các hạt có thể được kiểm soát trong một phạm vi nhất định chỉ bằng cách thay đổi nồng độ $AgNO_3$ [18-19]; sử dụng cây thuốc quan trọng Lô hội (Lô hội có nguồn gốc từ Ấn Độ, nó chứa một số nhóm thành phần hóa học như steroidal lactones, ancaloit, flavonoid và tannin. Do đó, hệ thực vật này cũng đã được lưu ý chọn để chế tạo các hạt nano bạc và hoạt tính kháng nấm của nó đối với *Rhizopus* sp. và *Aspergillus* sp. [20]; sử dụng hoặc các bazơ hữu cơ như triethyl amine, pyridine, glucose cho các hạt nano bạc không bị nhiễm bẩn như đối với sử dụng các bazơ vô cơ (như NaOH, Na_2CO_3), hạt nano bạc thu được ở điều kiện này được dễ ổn định mà không cần đến chất ổn định, đạt được hoạt tính kháng khuẩn cao và cũng hữu ích cho các ứng dụng kết nối điện tử [21]; sử dụng cánh ong mật *Apis mellifera* (Ong mật *Apis mellifera* là một phần của sự đa dạng mà tất cả các sinh vật sống trên hành tinh này phụ thuộc vào để tồn tại, nó sở hữu khả năng đặc biệt trong việc xử lý và lưu trữ mật hoa dưới dạng mật ong, vốn thường được sử dụng làm thực phẩm và thuốc từ thời tiền sử [22,23]. Mật ong chứa flavonoid và polyphenol có đặc tính chống oxy hóa và chống viêm cao [24,25]. Hoạt động kháng vi khuẩn của ong mật không chỉ giới hạn ở mật ong mà ở cánh ong mật cũng có hoạt tính kháng khuẩn tốt. Những chiếc cánh này được gắn một loạt các trụ thô, sắc và nhọn có tác dụng phá vỡ các tế bào vi khuẩn và ức chế sự phát triển của chúng [26]. Cánh của các loài côn trùng khác như ve sầu và chuồn chuồn cũng có các đặc tính kháng khuẩn tương tự có tác dụng tiêu diệt vi khuẩn khi tiếp xúc. Sự phân hủy tế bào vi khuẩn do cấu trúc nano này gây ra có thể là chìa khóa để phát

triển các thiết bị y tế kháng khuẩn nhằm chống lại vi khuẩn kháng nhiều loại thuốc). Đặc tính này cũng đã truyền cảm hứng cho các nhà khoa học đang tìm kiếm các công nghệ mới để chiến thắng vi khuẩn kháng thuốc. Việc tổng hợp các hạt nano từ mật ong đã liên tục chứng minh một số lợi thế so với các phương pháp trung gian sinh học [16,27,28]. Những phương pháp tổng hợp “xanh” mới lạ này đối với các vật liệu nano kim loại nói chung và nano bạc (Ag NPs) nói riêng là một lĩnh vực thú vị trong khoa học nano và công nghệ nano, mà ở đây các sản phẩm hoàn thiện của nó có thể được sử dụng như một chiến lược chống vi khuẩn thay thế để giảm gánh nặng bệnh truyền nhiễm vi khuẩn toàn cầu. Trong bài viết này đưa ra việc thống kê một số phương pháp “xanh” chế tạo và đánh giá khả năng kháng khuẩn của các hạt nano bạc (các hạt nano Ag NPs).

2. Thực nghiệm

2.1. Hóa chất

Hóa chất sử dụng gồm: Lá ổi (*Psidium guajava* L.) có nguồn gốc từ tỉnh Bắc Giang, Việt Nam; Hạt *Jatropha* được lấy từ nguồn địa phương (Ấn Độ); Lá tươi của cây Lô hội được thu thập từ vườn của Khoa Khoa học Môi trường, Đại học Burdwan (Ấn Độ); Cánh của những con ong thợ chết (*Apis mellifera*) được sử dụng trong nghiên cứu thu thập từ tổ ong nuôi, tại Winston Salem, Bắc Carolina, Hoa Kỳ. Các cánh được nhẹ nhàng lấy ra khỏi cơ thể bằng dao mổ vô trùng, bảo quản ở nhiệt độ phòng trong các đĩa Petri polystyrene vô trùng (Fisher Scientific) cho đến khi cần; Bạc nitrat ($AgNO_3$) có độ tinh khiết 99,8% (Sigma-Aldrich); Glucose; Diethyl amine ((DEA); Natri cacbonat; Natri hydroxit (Qualigens).

Bảng 1. Các phương pháp tiếp cận xanh chế tạo nano Ag NPs đi từ các nguyên liệu đầu theo các tài liệu tham khảo.

Mẫu	Phương pháp chế tạo	Nguyên liệu đầu và tác nhân khử	Tài liệu tham khảo
Mẫu (a)	Tổng hợp xanh hạt nano bạc từ chiết xuất lá ổi	$AgNO_3$ 99,8 %; Lá ổi (Bắc Giang, Việt Nam)	[8]
Mẫu (b)	Hóa học ướt đơn giản tổng hợp các hạt bạc nano được hình thành trong quá trình oxy hóa glucose	$AgNO_3$ 5 mM; 3mM; 3mM; 3mM; Glucose 5mM; 5mM; 5mM; 5mM; DEA 115 mM; 115 mM; 75mM; 23mM	[21]
Mẫu (c)	Tổng hợp xanh các hạt nano bạc bằng chiết xuất hạt <i>Jatropha curcas</i> (loại thực vật nguồn gốc Ấn Độ)	$AgNO_3$ 10^{-3} - 10^{-2} M (Sigma-Aldrich); Chiết xuất hạt <i>Jatropha curcas</i> (50g hạt/500 mL nước cất)	[19]
Mẫu (d)	Tổng hợp sinh học các hạt nano bạc từ chiết xuất lá lô hội (loại thực vật nguồn gốc Ấn Độ)	$AgNO_3$ 3 mM (Sigma-Aldrich); Chiết xuất lá lô hội 5%	[20]
Mẫu (e)	Tổng hợp theo sinh học các hạt nano bạc từ cánh Ong mật	$AgNO_3$ 0,1M (Sigma-Aldrich); Cánh ong mật (0,1g) được thủy phân trong 0,1 M NaOH ở 90 °C	[16]

2.2. Các phương pháp tiếp cận xanh chế tạo nano Ag NPs từ các nguyên liệu đầu theo tài liệu tham khảo

Bảng 1 đưa ra các phương pháp chế tạo xanh các hạt nano Ag NPs từ các nguyên liệu đầu theo các tài liệu tham khảo.

3. Các kết quả thực nghiệm và thảo luận

3.1. Kết quả phổ hấp thụ UV-vis

Phổ hấp thụ UV-vis của các hạt nano Ag (Ag NPs) chế tạo theo các thực nghiệm [8,21,19] được thể hiện ở Hình 1(a,b,c). Phổ hấp thụ đặc trưng cho các hạt nano Ag nằm trong khoảng bước sóng $\lambda \approx 360$ -480 nm. Kích thước hạt nano Ag chế tạo được càng nhỏ thì bước sóng hấp thụ càng dịch chuyển về bước sóng ánh sáng dài [8,16,19-21]. Kết quả về phổ hấp thụ và bước sóng hấp thụ cực đại đặc trưng của các mẫu chế tạo Ag NPs được cho trong Bảng 2.

Bảng 2. Các thông số của các mẫu nano Ag chế tạo liên quan tương ứng với bước sóng ánh sáng hấp thụ.

Mẫu	Bước sóng hấp thụ (λ , nm)	Tài liệu tham khảo
Mẫu (a)	365; 435; 438; 440	[8]
Mẫu (b)	432; 426; 436; 464	[21]
Mẫu (c)	425 - 452	[19]
Mẫu (d)	400-480	[20]
Mẫu (e)	440	[16]

Như vậy, phổ UV-vis là một kỹ thuật phân tích được sử dụng rộng rãi để phát hiện các hạt nano kim loại. Độ hấp thụ được đo bằng phổ UV-vis trometer cho thấy đỉnh hấp thụ tương ứng ở 360-480 nm xác nhận sự hiện diện của các hạt nano bạc [8,14,16,19-21]. Với các mẫu đánh giá ở đây cho thấy, phổ hấp thụ của các mẫu hạt nano Ag chế tạo UV-vis đều cho bước sóng hấp thụ đặc trưng $\lambda \approx 360$ -480 nm.

3.2. Kết quả nhiễu xạ tia X (XRD)

Hình 2 (a,b,c) là kết quả nhiễu xạ tia X của các hạt nano Ag (Ag NPs) chế tạo theo các thực nghiệm [8,21,19].

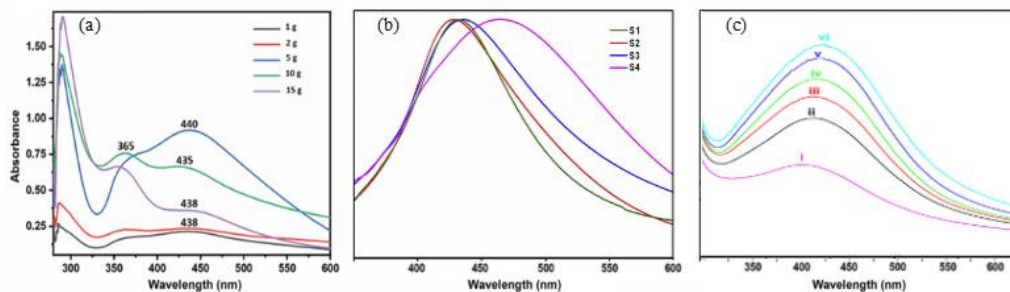
Bảng 3. Kích thước tinh thể D (nm) được xác định theo Debye-Scherrer và hằng số mạng a (Å) của các mẫu hạt nano Ag (a,b,c).

Mẫu	2 θ (degree); (hkl)	D (nm)	a (Å)
Mẫu (a) [8]	38,22°; (111)	11,466	4,078
Mẫu (b) [21]	38,12°; (111)	45	-
Mẫu (c) [19]	38,03°; (111)	15-50	-
Mẫu (d) [20]	~38,1°; (111)	~70	-
Mẫu (e) [16]	38,03°; (111)	10-40	-

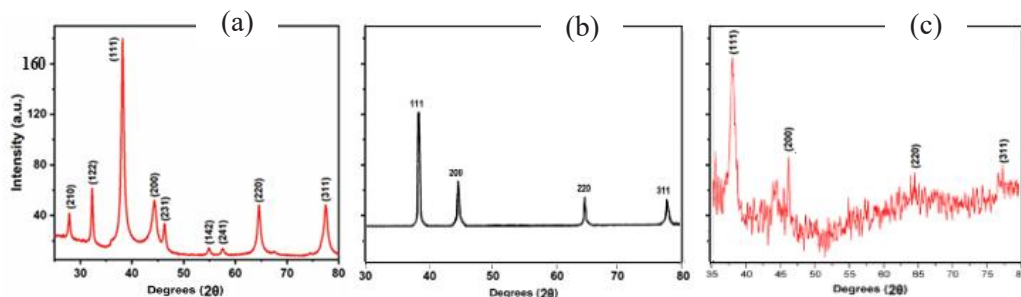
Đối với mẫu (a) thì các đỉnh nhiễu xạ được xuất hiện ở các vị trí góc nhiễu xạ $2\theta \approx 27,76, 32,31, 38,22, 44,28, 46,37, 54,88, 57,54, 64,49$ và $77,45^\circ$. Các đỉnh này được gán cho các đỉnh nhiễu xạ của các mặt mạng tinh thể (210), (122), (111), (200), (231), (142), (241), (220), và (311). Các đỉnh có cường độ bức xạ mạnh tại các mặt phẳng (111), (200), (220) và (311) là đặc trưng của các hạt nano bạc (phù hợp với thẻ JCPDS số 03-0921, cho thấy các hạt nano bạc có cấu trúc tinh thể lập phương tâm mặt (FCC) [29]. Đối với mẫu (b) thì các đỉnh nhiễu xạ mạnh cũng được xuất hiện ở các vị trí góc nhiễu xạ $2\theta \approx 38,1, 44,2, 64,4, 77,42^\circ$, tương ứng được gán với các mặt mạng tinh thể đặc trưng của các hạt nano bạc là (111), (200), (220) và (311) [29,30]. Mẫu (c) cũng hoàn toàn tương tự được xuất hiện các đỉnh nhiễu xạ ở các vị trí góc nhiễu xạ $2\theta \approx 38,03, 46,18, 63,43, 77,18^\circ$ tương ứng với các mặt phẳng (111), (200), (220) và (311) đặc trưng của các hạt nano bạc [29]. Như vậy là các mẫu Ag NPs theo các thực nghiệm xác nhận được các hạt nano Ag NPs đã được tổng hợp thành công. Kích thước tinh thể D được xác định bằng phương trình Debye-Scherrer và hằng số mạng a (Å) được lấy từ các giá trị d [30]. Trong đó D là kích thước tinh thể trung bình (nm), λ là bước sóng tia X (1,54056 Å), β là chiều rộng ở vị trí một nửa cực đại (FWHM) và θ là góc nhiễu xạ Bragg [31]. Các kết quả Kích thước tinh thể D (nm) được xác định theo Debye-Scherrer và hằng số mạng a (Å) của các mẫu Ag NPs (a,b,c,d,e) theo Bảng 3.

3.3. Kết quả hiển vi điện tử quét (SEM)

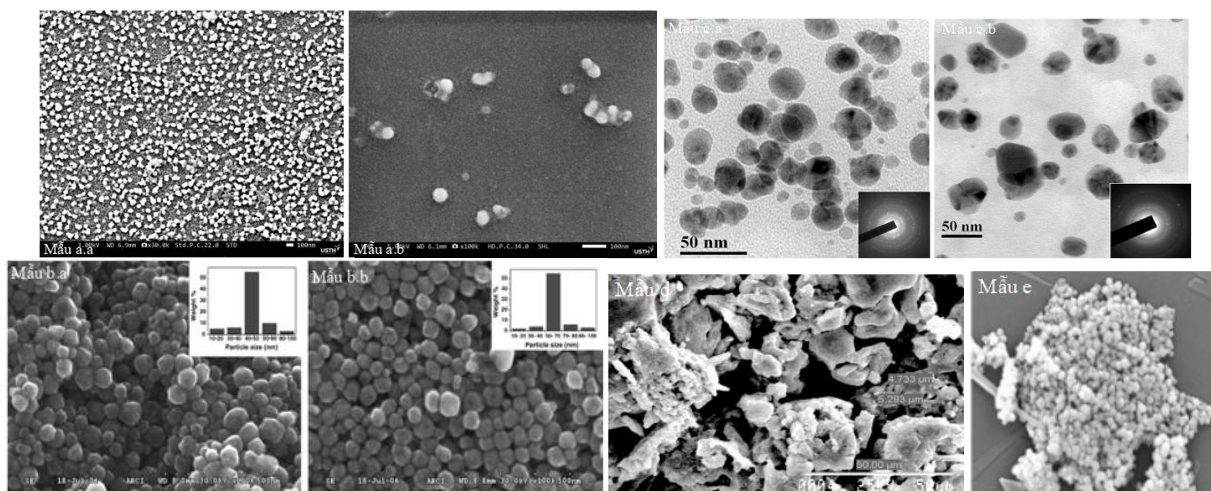
Hình 3 thể hiện hình ảnh kính hiển vi điện tử quét của các mẫu a,b,c,d,e theo các phương pháp thực nghiệm (theo Bảng 1). Mẫu a.a - Hình ảnh kính hiển vi điện tử quét phát xạ trường của các hạt nano bạc ở độ phóng đại 30,0 k; mẫu a.b - Hình ảnh kính hiển vi điện tử quét phát xạ trường của các hạt nano bạc ở độ phóng đại 100,0 k; mẫu b.a - SEM của các hạt nano bạc S2; mẫu b.b - SEM của các hạt nano bạc S3 và hình chèn cho thấy sự phân bố kích thước hạt được đo từ kính hiển vi; mẫu c.a - Ảnh chụp HRTEM của các hạt nano bạc tổng hợp từ 10^{-3} (M) AgNO_3 và chiết xuất hạt Jatropha ($f = 0,2$); mẫu c.b - Ảnh chụp HRTEM của các hạt lớn hơn tổng hợp từ dung dịch 10^{-2} (M) AgNO_3 và chiết xuất hạt Jatropha ($f = 0,2$) (hình chèn cho thấy mẫu SAED của bạc nano tinh thể); mẫu d - SEM của các hạt nano bạc tổng hợp; mẫu e - Hình ảnh kính hiển vi điện tử quét của các hạt nano bạc tổng hợp các hạt nano bạc hình cầu [16]. Quan sát hình thái bề mặt của các mẫu nano Ag NPs theo các phương pháp thực nghiệm đều cho thấy các hạt nano bạc có hình cầu. Các hạt nano hình cầu này đều có kích thước phù hợp với tính toán dựa trên phép đo XRD ở trên. Ví dụ, các hạt nano Ag NPs với kích thước hạt dao động từ 15-80 nm, chủ yếu phân bố trong khoảng 30-40 nm [8]. Các hạt nano Ag NPs có đường kính từ 15 đến 25 nm. Các hạt lớn hơn và không đều có đường kính 30-50 nm [19,21].



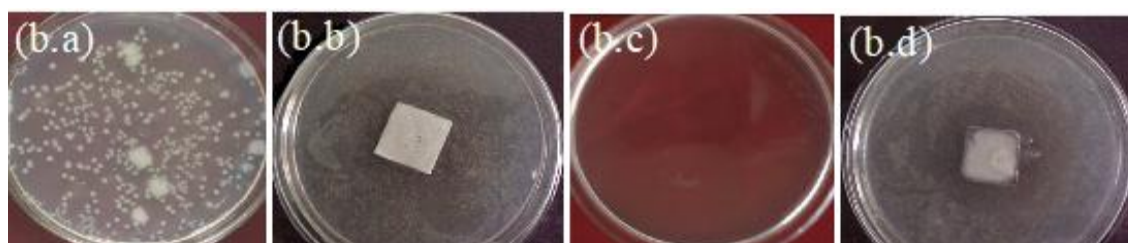
Hình 1 (a,b,c). Phổ hấp thụ UV-vis của các mẫu hạt nano Ag (Ag NPs) theo các tài liệu [8,21,19].

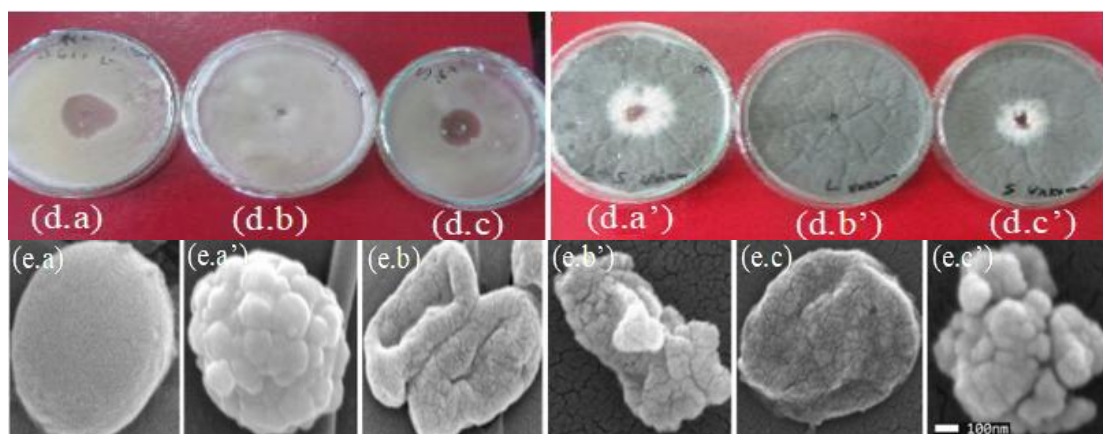


Hình 2 (a,b,c). Giản đồ nhiễu xạ XRD của các hạt nano Ag (Ag NPs) theo các tài liệu [8,21,19].



Hình 3. Mẫu a.a -Hình ảnh kính hiển vi điện tử quét phát xạ trường của các hạt nano bạc ở độ phóng đại 30,0 k; mẫu a.b -Hình ảnh kính hiển vi điện tử quét phát xạ trường của các hạt nano bạc ở độ phóng đại 100,0 k; mẫu b.a -SEM của các hạt nano bạc S2; mẫu b.b -SEM của các hạt nano bạc S3 và hình chèn cho thấy sự phân bố kích thước hạt được đo từ kính hiển vi; mẫu c.a -Ảnh chụp HRTEM của các hạt nano bạc tổng hợp từ $10^{-3}(M)$ $AgNO_3$ và chiết xuất hạt Jatropha ($f=0,2$); mẫu c.b -Ảnh chụp HRTEM của các hạt lớn hơn tổng hợp từ dung dịch $10^{-2}(M)$ $AgNO_3$ và chiết xuất hạt Jatropha ($f=0,2$) (hình chèn cho thấy mẫu SAED của bạc nano tinh thể); mẫu d -SEM của các hạt nano bạc tổng hợp; mẫu e -Hình ảnh kính hiển vi điện tử quét của các hạt nano bạc tổng hợp các hạt nano bạc hình cầu [16].





Hình 4 (b,d,e). Là hình ảnh SEM thể hiện khả năng kháng khuẩn, kháng nấm của các hạt nano bạc Ag NPs. Mẫu b.a, b.b, b.c, b.d là ảnh chụp SEM thử nghiệm kháng khuẩn tương ứng của mẫu đối chứng, đối chứng với các hạt nano bạc, đối chứng với nhựa không tráng phủ và đối chứng với nhựa tráng phủ nano bạc. Mẫu d.a, d.b, d.c, d.a', d.b', d.c' là hình ảnh SEM cho hoạt động kháng nấm tương ứng của AgNPs trong *Aspergillus* sp, chiết xuất lô hội trong *Aspergillus* sp, dung dịch muối AgNO_3 trong *Aspergillus* sp, AgNPs trong *Rhizopus* sp, chiết xuất lô hội trong *Rhizopus* sp, dung dịch muối AgNO_3 trong *Rhizopus* sp. Mẫu e.a, e.a', e.b, e.b', e.c, e.c' là ảnh SEM của hoạt động vi khuẩn Gram dương và các hạt nano bạc tổng hợp sinh học từ cánh ong thợ của tế bào *S. aureus*, tế bào *S. aureus* và các hạt nano, tế bào *B. megaterium*, *B. megaterium* và các hạt nano, tế bào *M. luteus*, tế bào *M. luteus* và các hạt nano [16,20,21].

3.4. Khả năng kháng khuẩn, kháng nấm của các hạt nano bạc Ag NPs

Hình 4 (b,d,e) là hình ảnh SEM thể hiện khả năng kháng khuẩn *E. coli.*, vi khuẩn Gram dương và kháng nấm *Aspergillus* sp., *Rhizopus* sp. của các hạt nano bạc Ag NPs. Mẫu b.a, b.b, b.c, b.d là ảnh chụp SEM thử nghiệm kháng khuẩn *E. coli.* tương ứng của mẫu đối chứng, đối chứng với các hạt nano bạc, đối chứng với nhựa không tráng phủ và đối chứng với nhựa tráng phủ nano bạc. Mẫu d.a, d.b, d.c, d.a', d.b', d.c' là hình ảnh SEM cho hoạt động kháng nấm tương ứng của AgNPs trong *Aspergillus* sp, chiết xuất lô hội trong *Aspergillus* sp, dung dịch muối AgNO_3 trong *Aspergillus* sp, AgNPs trong *Rhizopus* sp, chiết xuất lô hội trong *Rhizopus* sp, dung dịch muối AgNO_3 trong *Rhizopus* sp. Mẫu e.a, e.a', e.b, e.b', e.c, e.c' là ảnh SEM của hoạt động vi khuẩn Gram dương và các hạt nano bạc tổng hợp sinh học từ cánh ong thợ của tế bào *S. aureus*, tế bào *S. aureus* và các hạt nano, tế bào *B. megaterium*, *B. megaterium* và các hạt nano, tế bào *M. luteus*, tế bào *M. luteus* và các hạt nano. Theo kết quả, các hạt nano bạc có đặc tính kháng khuẩn *E. coli.* tốt. Số lượng *E. coli* bị giảm đi đáng kể do tác dụng kháng khuẩn của các hạt nano bạc, trong khi sự phát triển thì được quan sát thấy ở nhóm đối chứng (mẫu b.a,b.b -Hình 4). Vùng ức chế được quan sát thấy đối với nhựa phủ bột nano bạc xác nhận tác dụng kháng khuẩn của các hạt nano bạc, và không có vùng ức chế nào đối với nhựa không phủ (mẫu b.c,b.d -Hình 4). Đối với hoạt động kháng nấm, các hạt nano AgNPs có khả năng kháng nấm tốt, và phụ thuộc vào loại nấm, phụ thuộc vào kích thước tinh thể của AgNPs và có liên quan chặt chẽ với sự hình thành các hố trên thành tế bào của vi sinh vật. Đối với hoạt động kháng khuẩn thì các hạt nano bạc tổng hợp sinh học thể hiện hoạt động kháng khuẩn mạnh đối với các vi khuẩn đã thử nghiệm. Kích thước nhỏ của các hạt nano có thể làm tăng đáng kể sản xuất ROS gây

ra tổn thương và bất hoạt. Ở đây cho thấy là các hạt nano Ag NPs thể hiện hoạt động kháng khuẩn mạnh đối với Gram dương [16,20,21].

4. Kết luận

Các hạt nano Ag NPs được tổng hợp theo nhiều phương pháp khác nhau như: đi từ chiết xuất lá ôi tươi đã được tối ưu hóa trong điều kiện nồng độ chiết xuất là 5 g lá/100 ml nước; theo một lộ trình tổng hợp hóa chất ướt đơn giản được hình thành trong phản ứng oxy hóa khử đơn giản trong diethyl amine, glucose và bạc nitrat; phương pháp xanh tổng hợp các hạt nano bạc sử dụng chiết xuất hạt nước của *J. curcas* (hạt *Jatropha*), loại chiết xuất hạt *Jatropha* này là lành tính với môi trường và có thể tái tạo, hoạt động như cả chất khử và chất ổn định; hoặc bằng cách sử dụng chiết xuất lá lô hội; hay quá trình tổng hợp sinh học các hạt nano bạc bằng cách sử dụng cánh ong thợ. Các hạt nano Ag NPs được tạo thành theo các phương pháp trên đều có kích thước hạt nano mét dao động trong khoảng 10-70 nm. Các hạt nano Ag NPs đều có dạng hình cầu. Khả năng kháng khuẩn *E. coli.*, vi khuẩn Gram dương và kháng nấm *Aspergillus* sp., *Rhizopus* sp. của các hạt nano bạc Ag NPs đều tốt và phụ thuộc theo loại vi khuẩn, loại nấm, theo kích thước tinh thể của Ag NPs và hình dáng hạt tinh thể nano bạc Ag NPs. Với khả năng kháng khuẩn và kháng nấm tốt của các hạt nano Ag NPs được đề xuất cho khai thác lĩnh vực ứng dụng AgNPs trong Nông nghiệp để kiểm soát mầm bệnh, ứng dụng dược phẩm và y sinh học khác nhau; triển vọng sản xuất và ứng dụng trên quy mô lớn trong khử trùng, chăm sóc sức khỏe, kiểm soát dịch hại, phòng ngừa nấm mốc. Việc đánh giá các phương pháp xanh chế tạo vật liệu, tiềm năng ứng dụng và thương mại hóa vật liệu nano Ag NPs là đề mở rộng và sâu hơn cho các nghiên cứu tiếp theo về vật liệu này.

Tài liệu tham khảo

- [1]. R.A. Praphakar, M. Jeyaraj, *et al.*, *Silver nanoparticle functionalized CS-g-(CA-MA-PZA) carrier for sustainable anti-tuberculosis drug delivery*, International Journal of Biological Macromolecules, 118, 1627-1638 (2018).
- [2]. M.A. Odeniyi, V.C. Okumah, *et al.*, *Green synthesis and cream formulations of silver nanoparticles of Nauclea latifolia (African peach) fruit extracts and evaluation of antimicrobial and antioxidant activities*, Sustainable Chemistry and Pharmacy, 15, (2020).
- [3]. M.E.K. Kraeling, V.D. Topping, Z.M. Keltner, *et al.*, *In vitro percutaneous penetration of silver nanoparticles in pig and human skin*, Regulatory Toxicology and Pharmacology, 95, 314-322 (2018).
- [4]. O. Gherasim, A.M. Grumezescu, V. Grumezescu, *et al.*, *Bioactive surfaces of polylactide and silver nanoparticles for the prevention of microbial contamination*, Materials, 13(3), (2020).
- [5]. M.P. Mishra, R.N. Padhy, *Antibacterial activity of green silver nanoparticles synthesized from Anoegissus acuminata against multidrug resistant urinary tract infecting bacteria in vitro and host-toxicity testing*, J. Appli. Biomedicine, 16(2), 120-125 (2018)
- [6]. S. Liao, Y. Zhang, X. Pan, *et al.*, *Antibacterial activity and mechanism of silver nanoparticles against multidrug resistant Pseudomonas aeruginosa*, International Journal of Nanomedicine, (2019).
- [7]. E.A. Skomorokhova, T.P. Sankova, A.N. Savelev, *et al.*, *Size-dependent bioactivity of silver nanoparticles: Antibacterial properties, influence on copper status in mice, and whole-body turnover*, Nanotechnology, Sci. and Appli., 13, 137-157 (2020).
- [8]. T.D. Dong, B.V. Hoang, N.D. Quang, N.D. Cuong, T.B. Cong, V.T. Thao, *Investigation of factors affecting the green synthesis of silver nanoparticles from guava leaf extract*, Vietnam J. Sci., Tech. and Engineering, 67, 28-38 (2025).
- [9]. S. Iravani, H. Korbekandi, S.V. Mirmohammadi and B. Zolfaghari, *Synthesis of Silver Nanoparticles: Chemical, Physical and Biological Methods*, Research in Pharmaceutical Sciences, 9, 385-406 (2014).
- [10]. A. Shenava, *Synthesis of Silver Nanoparticles by Chemical Reduction Method and Their Antifungal Activity*, International Research Journal of Pharmacy, 4, 111-113 (2013).
- [11]. S. Ying, Z. Guan, P.C. Ofoegbu, P. Clubb, C. Rico, F. He, and J. Hong, *Green Synthesis of Nanoparticles: Current Developments and Limitations*, Environmental Technology & Innovation, 26, Article ID: 102336 (2022).
- [12]. N. Tarannum, and Y.K. Gautam, *Facile Green Synthesis and Applications of Silver Nanoparticles: A State-of-the-Art Review*, RSC Advances, 9, 34926-34948 (2019).
- [13]. Y.K. Mohanta, D. Nayak, K. Biswas, S.K. Singdevsachan, E.F. Abd Allah, A. Ha shem, T.K. Mohanta, *et al.*, *Silver Nanoparticles Synthesized Using Wild Mushroom Show Potential Antimicrobial Activities against Food Borne Pathogens*, Molecules, 23, Article 655 (2018).
- [14]. M. Khatami, S. Iravani, R.S. Varma, F. Mosazade, M. Darroudi, and F. Borhani, *Cockroach Wings-Promoted Safe and Greener Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Insecticidal Activity*, Bioprocess and Biosystems Engineering, 42, 2007-2014 (2019).
- [15]. A. Rajesh, and G. Madhumitha, *An Insight into the Insecticidal Activity of Green Synthesized Silver Nanoparticles*, Colloid Journal, 85, 854-870 (2023).
- [16]. J. E. Akamu, J. Niore, F. B. A'lyiha, T. Ilunga, J. Brittany, M. Jeffery, *Synthesis of Silver Nanoparticles from Honeybees and Its Antibacterial Potential*, Open Journal of Medical Microbiology, 14, 77-92 (2024).
- [17]. P. Jakinala, N. Lingampally, B. Hameeda, R.Z. Sayyed, M.Y. Khan Elsayed, *et al.*, *Silver Nanoparticles from Insect Wing Extract: Biosynthesis and Evaluation for Antioxidant and Antimicrobial Potential*, Plos One, 16, e0241729 (2021).
- [18]. G.M. Gubitz, *et al.*, *Exploitation of the tropical oil seed plant Jatropha curcas L., Bioresour, Technol.* 67 (1999) 73-82.
- [19]. H. Bar, D. Kr. Bhui, G. P. Sahoo, P. Sarkar, S. Pyne, A. Misra, *Green synthesis of silver nanoparticles using seed extract of Jatropha curcas*, Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, 348, 212-216 (2009).
- [20]. S. Medda, A. Hajra, U. Dey, P. Bose, N. K. Mondal, *Biosynthesis of silver nanoparticles from Aloe vera leaf extract and antifungal activity against Rhizopus sp. and Aspergillus sp.*, Appl Nanosci, 5, 875-880 (2015).
- [21]. Revathi J., Murugan K., *et al.*, *Synthesis and surface chemistry of nano silver particles*, Polyhedron, 28, 2522-2530 (2009).
- [22]. Z.H. Saba, M. Suzana, and M.Y. Anum, *Honey: Food or Medicine, Me health*, 8, 3-18 (2013).
- [23]. A. Faraz, W.B. Fernando, M. Williams, and V. Jayasena, *Effects of Different Processing Methods on the Antioxidant and Antimicrobial Properties of Honey: A Review*, International Journal of Food Science & Technology, 58, 3489-3501 (2023).
- [24]. D. Cianciosi, T.Y. Forbes-Hernández, S. Afrin, M. Gasparrini, P. Reboredo-Rodriguez, *et al.*, *Phenolic Compounds in Honey and Their Associated Health Benefits: A Review*, Molecules, 23, Article 2322 (2018).
- [25]. Y. Ranneh, A.M. Akim, H.A. Hamid, H. Khazaai, A. Fadel, Z.A. Zakaria, M.F.A. Bakar, *et al.*, *Honey and Its Nutritional and Anti-Inflammatory Value*, BMC Complementary Medicine and Therapies, 21, Article No.30 (2021).
- [26]. A.J. Ewunkem, F.B. A'lyiha, B.L. Justice, S.L. Peoples, J.A. Meixner, *et al.*, *Honeybee Wings Hold Antibiofouling and Antimicrobial Clues for Improved Applications in Health Care and Industries*, AIMS Microbiology, 9, 332-345 (2023).
- [27]. R.W. Van Nieuwenhoven, A. Bürger, and I.C. Gebeshuber, *Mechanical Bactericide by Biomimetics of the Nanopillars on Insect Wings*, Master's Thesis, TU Wien, Vienna (2022).
- [28]. D.P. Linklater, P.H. Le, A. Aburto-Medina, R.J. Crawford, S. MacLaughlin, S. Jurdak, and E.P. Ivanova, *Biomimetic Nanopillar Silicon Surfaces Rupture Fungal Spores*, International Journal of Molecular Sciences, 24, Article 1298 (2023).
- [29]. Y. Meng, *A sustainable approach to fabricating Ag nanoparticles/PVA hybrid nanofiber and its catalytic activity*, Nanomaterials, 5(2), 1124-1135 (2015).
- [30]. K. Anandalakshmi, J. Venugobal, V. Ramasamy, *Characterization of silver nanoparticles by green synthesis method using Pedalium murex leaf extract and their antibacterial activity*, Applied Nanoscience, 6, 399-408 (2016).
- [31]. X. Liang, L. Gao, *et al.*, *Facile synthesis and shape evolution of single-crystal cuprous oxide*, Adv Mater, 21, 2068-2071 (2009).