DOI: 10.64302/joshusc.v35n2.1426

TỐI ƯU HÓA TỔNG HỢP XANH NANO Ag TỪ DỊCH CHIẾT LÁ CHÈ BẰNG THIẾT KẾ BOX-BEHNKEN

Lê Thị Hòa[1*], Nguyễn Thị Thu Hương[1], Nguyễn Đức Vũ Quyên[1], Phan Thị Việt Hà[2]

[1]Khoa Hóa, trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

[2]Khoa Môi trường và Khoa học Tự nhiên, Đại học Duy Tân

* Email: lethihoa@husc.edu.vn

Ngày nhận bài: 29/4/2026; ngày hoàn thành phản biện: 02/6/2026; ngày duyệt đăng: 01/9/2026

TÓM TẮT

Trong bài báo này, dịch chiết lá chè tươi *Camellia sinensis* trồng ở thành phố Huế sử dụng làm chất khử và chất bảo vệ để tổng hợp nano Ag (AgNPs). Ba yếu tố nồng độ $AgNO_3$, pH và thể tích dịch chiết được khảo sát theo phương pháp đơn yếu tố để xác định miền làm việc ban đầu, sau đó được tối ưu hóa bằng phương pháp bề mặt đáp ứng theo thiết kế Box–Behnken. Điều kiện tổng hợp tối ưu được lựa chọn dựa trên phổ UV–Vis với cường độ hấp thụ cực đại lớn và độ rộng nửa chiều cao đỉnh (FWHM) nhỏ, tương ứng với nồng độ $AgNO_3$ 2,25 mM, thể tích dịch chiết 5,5 mL và pH 9. AgNPs tổng hợp tại điều kiện này được đặc trưng bằng TEM có kích thước 8,14 ± 3,47 nm, XRD khẳng định có cấu trúc lập phương tâm mặt và FTIR nhằm đánh giá vai trò bảo vệ của các nhóm chức trong dịch chiết chè.

Từ khóa. Nano Ag, tổng hợp xanh, dịch chiết lá chè, tối ưu hóa.

1. MỞ ĐẦU

Nano bạc (AgNPs) là một trong những vật liệu nano kim loại được quan tâm nhiều do các ứng dụng quang học, kháng khuẩn, y sinh và xử lý môi trường [1, 2] … Hiện nay, điều chế nano bạc có thể sử dụng nhiều phương pháp khác nhau như phương pháp vật lý, hóa học hay hóa lý. .. Tuy nhiên, các phương pháp này khá tốn kém và sử dụng các chất khử như hydrazin, natri borohydride… gây ảnh hưởng không tốt tới môi trường [2]. Vì thế hướng tổng hợp xanh đang được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. Trong số các phương pháp hóa học xanh, phương pháp điều chế nano bạc từ phản ứng giữa $AgNO_3$ với dịch chiết thực vật đang ngày càng cho thấy nhiều tiềm năng và ưu thế vì giá thành thấp, hoạt tính sinh học cao, quy trình tổng hợp đơn giản và thân

thiện với môi trường [3, 4]. Phương pháp tổng hợp xanh giúp giảm sử dụng hóa chất độc hại và tận dụng được các hợp chất tự nhiên sẵn có bằng cách kết hợp các phân tử sinh học như protein, acid amin, polysaccharide, tannin, phenolic, … đóng vai trò là tác nhân khử và chất ổn định, làm bền, ngăn cản sự kết tụ của các AgNPs tạo thành [5].

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã sử dụng dịch chiết lá chè có tên khoa học *Camellia sinensis,* thuộc họ Chè (Theaceace) để tổng hợp AgNPs [1, 6-11] trong đó có 1 công bố của tác giả Muharrem TÜRKKAN [11] đã thông qua tối ưu hóa thống kê bằng thiết kế Plackett-Burman và Box-Behnken để đánh giá tương tác các yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành AgNPs. Ở trong nước, có các công bố sử dụng các dịch chiết thực vật để tổng hợp AgNPs, đó là dịch chiết xuất hoa cây ngâu *Aglaia duperreana* [12], dịch chiết lá trầu không *Piper betle L.* [13], dịch chiết nấm linh chi *Ganoderma lucidum* [14], dịch chiết cây măng cụt *Garcinia mangostana L.* [15] và dịch chiết lá chè *Camellia sinensis* [16],… Tuy nhiên, theo sự hiểu biết của nhóm nghiên cứu thì chưa có công bố nào ở trong nước về quy hoạch hóa thực nghiệm để đưa ra điều kiện tối ưu tổng hợp xanh AgNPs.

Vì thế, bài báo này đã khảo sát tối ưu hóa tổng hợp AgNPs sử dụng dịch chiết lá chè. Dịch chiết lá chè là một nguồn giàu polyphenol và các hợp chất sinh học, có thể tham gia đồng thời vào quá trình khử bạc và bảo vệ bề mặt hạt nano. Mặt khác, sự hình thành AgNPs phụ thuộc mạnh vào điều kiện phản ứng, đặc biệt là nồng độ $AgNO_3$, pH và lượng dịch chiết được khảo sát đơn biến để tìm miền giá trị thích hợp. Trên cơ sở này, nghiên cứu đã sử dụng thiết kế Box–Behnken để đánh giá ảnh hưởng tương tác giữa ba yếu tố, dựa vào phổ UV–Vis để theo dõi sự hình thành hạt nano thông qua cường độ peak hấp thụ cực đại và giá trị FWHM cực tiểu [11].

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phương pháp thực nghiệm

Tổng hợp dịch chiết lá chè: Lá chè tươi được trồng ở phường Kim Long, thành phố Huế được thu hái tháng 2/2026, rửa sạch để loại bỏ bụi bẩn và tạp chất bám trên bề mặt, sau đó sấy khô trong tủ sấy ở 70 ˚C đến khối lượng ổn định. Cho 10 g lá chè sau khi sấy khô và nghiền nhỏ vào 500 mL nước cất đưa vào quá trình chiết ở 100 ˚C trong 3 giờ để thu dịch chiết. Và dịch chiết được lọc để loại bỏ phần bã không tan thu được dịch lá chè có màu vàng nhạt, đưa vào bảo quản lạnh 4 ˚C và sử dụng cho các thí nghiệm tổng hợp AgNPs.

Tổng hợp AgNPs: Dung dịch $AgNO_3$ với các nồng độ khảo sát được pha loãng từ dung dịch gốc 10 mM bằng nước cất. pH được điều chỉnh bằng dung dịch NH_3 (25%) hoặc HNO_3 (0,01 M) được dung dịch 1. Tiếp theo, dịch chiết lá chè được thêm vào dung dịch 1 trong điều kiện khuấy từ liên tục đến khi phản ứng xảy ra nhận biết thông qua sự

đổi màu dung dịch từ vàng nhạt sang vàng nâu đậm và được theo dõi bằng phổ UV-Vis. Tổng thể tích của mỗi mẫu thí nghiệm được giữ cố định là 20 mL.

2.2. Khảo sát đơn biến các yếu tố ảnh hưởng

Khảo sát đơn biến các yếu tố ảnh hưởng là chỉ thay đổi một yếu tố ảnh hưởng và hai yếu tố còn lại giữ không đổi như sau:

- Khảo sát nồng độ $AgNO_3$: 0,5; 1,0; 2,0 và 3,0 mM với pH = 9, thể tích dịch chiết 3 mL.

- Khảo sát pH: 3, 5, 7, 9 và 11 với nồng độ Ag^+ 1,0 mM, thể tích dịch chiết 3 mL.

- Khảo sát thể tích dịch chiết: từ 1 đến 10 mL với nồng độ Ag^+ 1,0 mM và pH = 9.

2.3. Thiết kế thí nghiệm Box-Behnken

Thiết kế Box–Behnken gồm: nồng độ $AgNO_3$ (A), pH (B) và thể tích dịch chiết (C). Mỗi yếu tố được khảo sát ở ba mức mã hóa (−1, 0, +1). Với 3 yếu tố, Box–Behnken tạo thí nghiệm bằng cách: mỗi lần chọn 2 yếu tố biến thiên ở mức ±1; ±1 và yếu tố còn lại giữ ở mức 0. Vì thế, ma trận Box–Behnken gồm 15 thí nghiệm được thiết lập để đánh tương tác giữa các yếu tố đối với sự hình thành AgNPs [11]. Điều kiện tối ưu được lựa chọn là (i) cường độ hấp thụ cực đại lớn: phản ánh mức độ hình thành AgNPs nhiều và (ii) FWHM nhỏ để biểu thị kích thước bé và ít phân tán của hệ hạt.

Từ điều kiện tối ưu này, tiến hành thí nghiệm lặp lại năm mẫu trong vùng điều kiện tối ưu nhằm kiểm chứng độ lặp lại và độ tin cậy của quy trình. Mẫu tối ưu được chọn để đo các đặc trưng vật liệu.

2.4. Phương pháp đặc trưng vật liệu

Bài báo đã sử dụng các phương pháp phân tích đặc trưng vật liệu: Phương pháp phổ hấp thụ UV-Vis để đánh giá sự hình thành AgNPs; Phương pháp nhiễu xạ tia X để đánh giá độ tinh thể và kích thước tinh thể của nano Ag; Phương pháp hiển vi truyền qua TEM để đánh giá hình thái của vật liệu AgNPs tổng hợp; Phương pháp hồng ngoại IR để đánh giá các liên kết và các nhóm chức.

Kích thước tinh thể được tính theo phương trình Scherer: $D = \frac{K.\lambda}{\beta.cos\theta}$

Với K = 0,9; λ = 0,15406 nm, β = FWHM, θ là góc nhiễu xạ cực đại.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của nồng độ $AgNO_3$

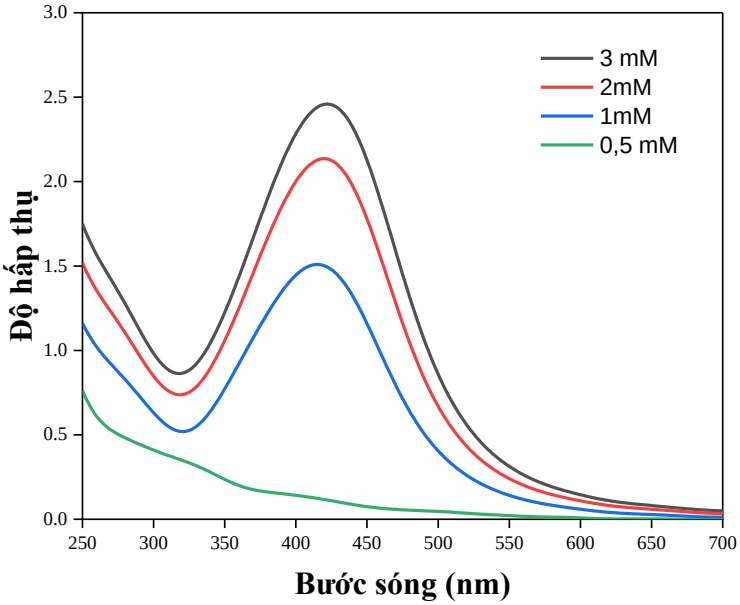
Kết quả khảo sát nồng độ $AgNO_3$ ở Bảng 3.1 và Hình 3.1 cho thấy khi tăng nồng độ $AgNO_3$ từ 0,5 mM lên 3,0 mM: cường độ hấp thụ cực đại chỉ có 1 peak và có dịch

chuyển về bước sóng lớn hơn cho thấy sự tạo thành AgNPs tăng, hạt có hình thái cầu và kích thước hạt tăng. Tuy nhiên, giá trị FWHM cũng tăng, phản ánh hạt AgNPs trở nên kém đồng đều hơn.

Mặc dù nồng độ 3,0 mM cho cường độ hấp thụ và giá trị FWHM lớn nhất. Vì vậy, vùng nồng độ trung bình 1,0 mM có FWHM bé hơn được chọn để tối ưu hóa tiếp theo.

Bảng 3.1. Ảnh hưởng của nồng độ $AgNO_3$ đến sự hình thành AgNPs

STT	**Nồng độ $AgNO_3$** (mM)	**λ_{max}** (nm)	**Cường độ cực đại**	**FWHM** (nm)
1	0,5	-	0,005	34,940
2	**1,0**	**419**	**1,151**	**83,805**
3	2,0	424	1,630	100,963
4	3,0	426	1,867	106,437



Hình 3.1. Phổ UV–Vis của AgNPs ở các nồng độ $AgNO_3$.

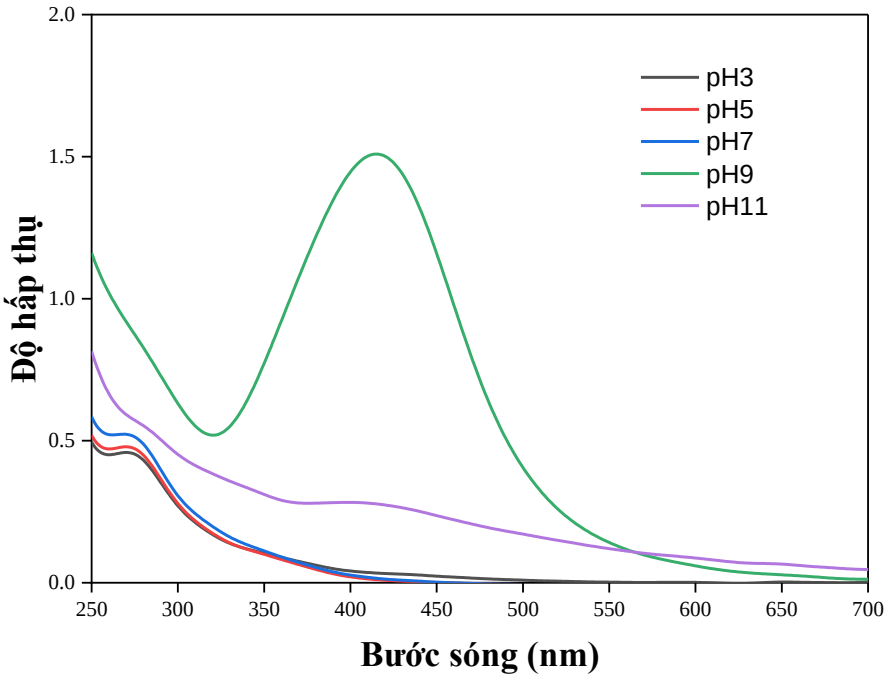
3.2. Ảnh hưởng của pH

Kết quả khảo sát ở Bảng 3.2 và Hình 3.2 cho thấy pH là yếu tố có ảnh hưởng quyết định đến quá trình hình thành AgNPs. Ở các giá trị pH = 3, 5 và 7, phổ UV–Vis không xuất hiện đỉnh hấp thụ chứng tỏ không có sự tạo thành AgNPs. Khi pH = 9, xuất hiện đỉnh hấp thụ rõ với cường độ lớn nhất 1,15 và FWHM 83,805. Ở pH = 11, tín hiệu hấp thụ rất yếu, với cường độ chỉ đạt 0,037.

Kết quả này cho thấy pH = 9 là phù hợp cho quá trình tổng hợp AgNPs bằng dịch chiết chè. Trong nghiên cứu này, môi trường kiềm nhẹ tạo điều kiện thuận lợi cho các hợp chất polyphenol trong dịch chiết chè tham gia quá trình khử Ag^+ và đồng thời góp phần ổn định bề mặt AgNPs.

Bảng 3.2. Ảnh hưởng của pH đến sự hình thành AgNPs

STT	pH	λ_{max} (nm)	Cường độ cực đại	FWHM (nm)
1	3	-	0	0
2	5	-	0	0
3	7	-	0	0
4	**9**	**419**	**1,151**	**83,805**
5	11	-	0,037	73,334



Hình 3.2. Phổ UV–Vis của AgNPs tổng hợp ở các giá trị pH.

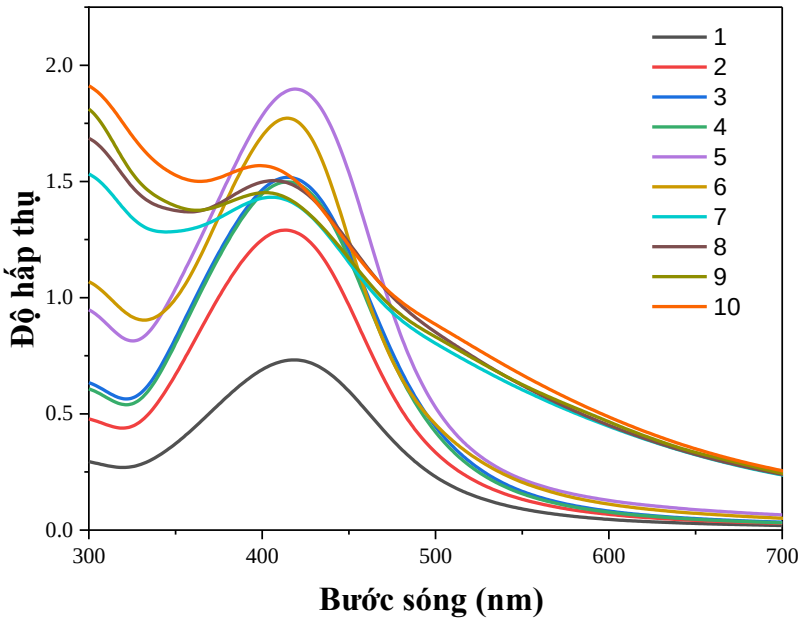
3.3. Thể tích dịch chiết

Khi thay đổi thể tích dịch chiết từ 1 đến 10 mL, đỉnh hấp thụ cực đại tăng từ 0,542 lên 1,336 ở 5 mL, sau đó giảm dần khi thể tịch dịch chiết tăng. Điều này có thể là do ở thể tích dịch chiết thấp, lượng hợp chất sinh học chưa đủ để khử ion Ag^+ nhưng thể tích dịch chiết lớn cũng không tạo điều kiện thuận lợi cho sự hình thành AgNPs. Khi xét

đồng thời giá trị hấp thụ cực đại lớn nhất tại 5 mL và FWHM không quá lớn, thể tích dịch chiết 5 mL được lựa chọn làm giá trị trung tâm cho thiết kế Box–Behnken.

Bảng 3.3. Ảnh hưởng của thể tích dịch chiết đến sự hình thành AgNPs

STT	**Thể tích dịch chiết** (mL)	**λ_{max}** (nm)	**Cường độ cực đại**	**FWHM** (nm)
1	1	373	0,542	101,698
2	2	378	0,978	99,756
3	3	375	1,151	83,805
4	4	376	1,120	103,402
5	**5**	**379**	**1,336**	**96,861**
6	6	379	1,139	82,813
7	7	381	0,366	76,511
8	8	379	0,360	75,325
9	9	385	0,276	70,741
10	10	388	0,274	65,605



Hình 3.3. Phổ UV–Vis của AgNPs tổng hợp ở các thể tích dịch chiết.

3.4. Qui hoạch hóa Box Behnkenn

Thiết kế Box–Behnken với 15 thí nghiệm được đưa ra ở Bảng 3.4 cho thấy sự tương tác giữa ba yếu tố khảo sát là ảnh hưởng đáng kể đến quá trình hình thành AgNPs.

Bảng 3. 4. Ma trận thực nghiệm Box–Behnken với kết quả cường độ và FWHM

STT	**A**	**B**	**C**	**$AgNO_3$** (mM)	**pH**	**Thể tích dịch chiết** (mL)	**Cường độ cực đại**	**FWHM** (nm)
1	-1	-1	0	1	8	5	1,299	92,955
2	-1	+1	0	1	10	5	0,062	61,771
3	+1	-1	0	2	8	5	1,968	87,041
4	+1	+1	0	2	10	5	0,062	51,118
5	-1	0	-1	1	9	4,5	0,028	63,271
6	-1	0	+1	1	9	5,5	2,073	95,922
7	+1	0	-1	2	9	4,5	0,035	55,343
8	+1	0	+1	**2**	**9**	**5,5**	**2,133**	**82,694**
9	0	-1	-1	1,5	8	4,5	0,675	86,995
10	0	-1	+1	1,5	8	5,5	2,571	89,456
11	0	+1	-1	1,5	10	4,5	0,030	52,207
12	0	+1	+1	1,5	10	5,5	0,688	95,764
13	0	0	0	1,5	9	5	1,313	90,559
14	0	0	0	1,5	9	5	1,840	84,490
15	0	0	0	1,5	9	5	1,880	83,271

Kết quả Bảng 3.4 cho biết mẫu 10 cho cường độ hấp thụ cực đại lớn nhất. Tuy nhiên, giá trị FWHM của mẫu 10 lại cao hơn mẫu 8. Kết hợp hai tiêu chí cho thấy mẫu 8 thể hiện sự cân bằng tốt hơn giữa khả năng hình thành AgNPs và mức độ đồng đều hạt.

Mô hình hồi quy bậc hai đã được xây dựng nhằm mô tả ảnh hưởng của các yếu tố đến hàm đáp ứng là cường độ cực đại:

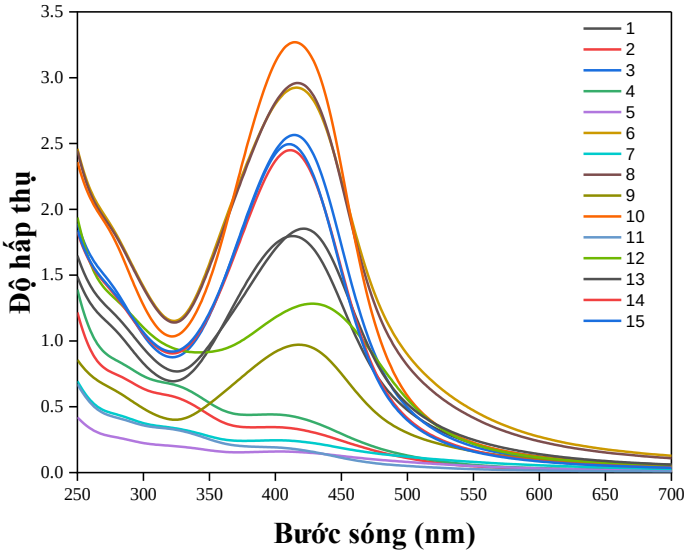
$$Y_{int} = 1{,}678 + 0{,}092A - 0{,}709B + 0{,}837C - 0{,}167AB + 0{,}013AC - 0{,}310BC - 0{,}377A^2 - 0{,}453B^2 - 0{,}234C^2.$$

Mô hình hồi quy bậc hai đã được xây dựng nhằm mô tả ảnh hưởng của các yếu tố đến hàm đáp ứng là FWHM bé:

$$Y_{FWHM} = 86{,}107 - 4{,}715A - 11{,}948B + 13{,}253C - 1{,}185AB - 1{,}325AC + 10{,}274BC - 9{,}842A^2 - 3{,}044B^2 - 1{,}958C^2$$

Kết quả cho thấy mô hình cường độ cực đại có độ phù hợp tốt với dữ liệu thực nghiệm, với R^2_{int} = 0,950 và R^2_{adj} = 0,859 trong khi mô hình FWHM cũng cho độ phù hợp cao với R^2_{FWHM} = 0,936 và R^2_{adj} = 0,819. Điều này cho thấy các mô hình hồi quy thu được có thể sử dụng để mô tả và dự đoán đáp ứng trong miền khảo sát.

Khi xem xét đồng thời hai đáp ứng, có thể thấy pH và thể tích dịch chiết là hai yếu tố ảnh hưởng mạnh nhất nhưng xu hướng tác động không hoàn toàn đồng nhất. Cụ thể, tăng thể tích dịch chiết giúp tăng cường độ cực đại nhưng đồng thời làm tăng FWHM, trong khi tăng pH lại làm giảm cả cường độ cực đại và FWHM. Do đó, điều kiện tối ưu cần được xác định theo hướng bảo đảm sự cân bằng giữa cường độ hấp thụ cao và FWHM thấp.



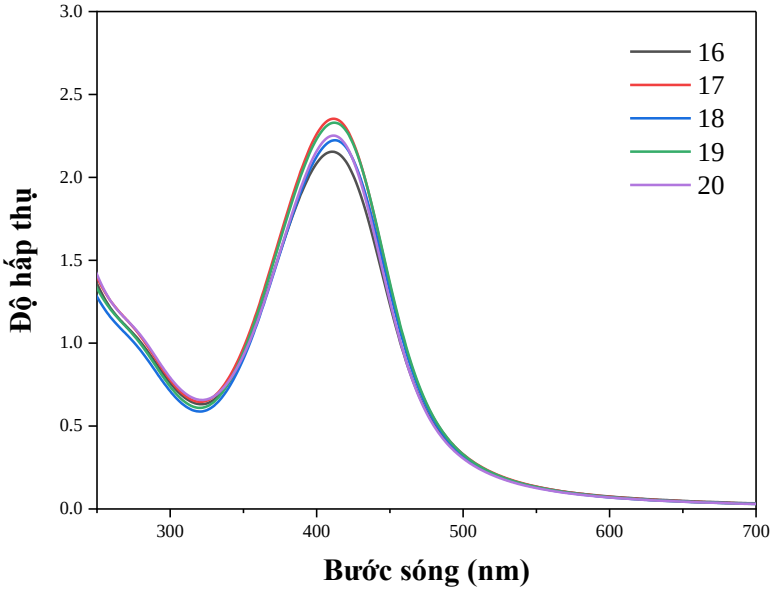
Hình 3.4. Phổ UV–Vis của nano Ag tổng hợp 15 mẫu trong thiết kế Box–Behnken.

Từ kết quả mô hình hóa, nghiên cứu kiểm chứng được thực hiện 5 mẫu tại pH cố định bằng 9, trong đó nồng độ $AgNO_3$ và thể tích dịch chiết được thay đổi trong vùng lân cận điều kiện tối ưu dự đoán (Bảng 3.5). Kết quả phổ UV-Vis cho cường độ hấp thụ rất lớn và bị nhiễu nên thí nghiệm kiểm chứng này đã pha loãng hỗn hợp 10 lần. Bảng 3.5 cho thấy các giá trị cường độ peak và giá trị FWHM thay đổi ít giữa các mẫu, chứng tỏ quá trình tổng hợp có độ lặp lại tốt và hạt nano tạo thành biến động ít giữa các mẫu. Trong số 5 mẫu kiểm chứng, mẫu 17 có cường độ peak lớn nhất, đồng thời giá trị FWHM nhỏ hơn mẫu 19 dù hai mẫu có cường độ gần như tương đương. Mẫu 20 có FWHM nhỏ nhất, nhưng cường độ hấp thụ thấp hơn so với mẫu 17. Do đó, khi xét đồng thời hai tiêu

chí cường độ peak lớn và giá trị FWHM bé thì mẫu 17 được xác định là mẫu tối ưu nhất trong nhóm kiểm chứng. Vậy điều kiện tối ưu để tổng hợp AgNPs từ dịch chiết lá chè là $AgNO_3$ 2,25 mM, dịch chiết chè 5,5 mL và pH = 9 được tiến hành phân tích đặc trưng.

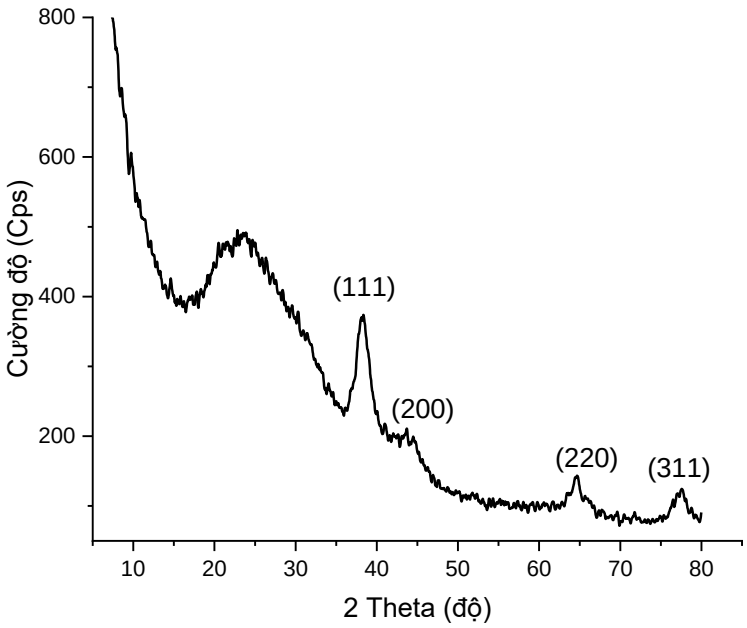
Bảng 3.5. Kết quả kiểm chứng điều kiện tối ưu của quá trình tổng hợp AgNPs

STT	**Mẫu**	**$AgNO_3$** (mM)	**Thể tích dịch chiết** (mL)	**λ_{max}** (nm)	**Cường độ cực đại**	**FWHM** (nm)
1	16	2	5,5	388	1,718	81,690
2	17	**2,25**	**5,5**	**388**	**1,911**	**81,180**
3	18	2,5	5,5	387	1,820	82,309
4	19	2	6,0	387	1,910	82,124
5	20	2,25	6,0	388	1,806	78,536



Hình 3.5. Phổ UV–Vis của 5 mẫu kiểm chứng tại vùng điều kiện tối ưu.

3.5. Đặc trưng vật liệu

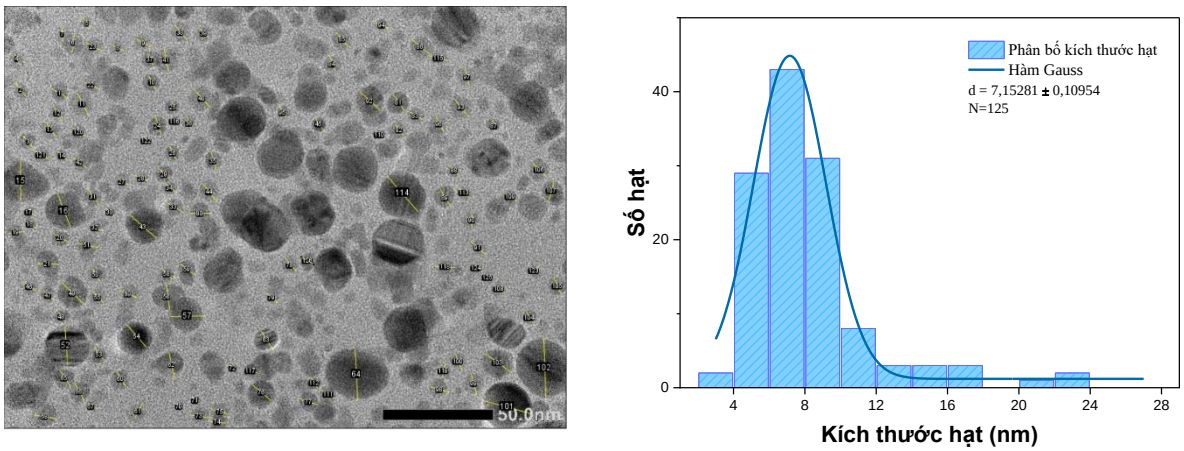


Hình 3.6. Giản đồ XRD của AgNPs tổng hợp tối ưu.

Giản đồ XRD của AgNPs tối ưu (Hình 3.6) xuất hiện các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng tại 2θ ở 38,345°, 44,009°, 64,140° và 77,123°, lần lượt tương ứng với các mặt tinh thể (111), (200), (220) và (311) của bạc kim loại cấu trúc lập phương tâm mặt (JCPDS 03-065-2871) tương tự các công bố [1, 2, 14]. Đỉnh ở mặt (111) có cường độ mạnh nhất, chứng tỏ vật liệu tổng hợp là chứa nano bạc [1]. Ngoài ra, nền nhiễu xạ rộng ở vùng góc bé hơn cho thấy trong mẫu vẫn tồn tại thành phần vô định hình, điều này là do hợp chất hữu cơ từ dịch chiết lá chè bao phủ trên bề mặt hạt nano. Từ đỉnh của mặt (111) tại 2θ = 38,345° với FWHM = 0,9278, kích thước tinh thể trung bình tính theo phương trình Debye–Scherrer là 8,8 nm.

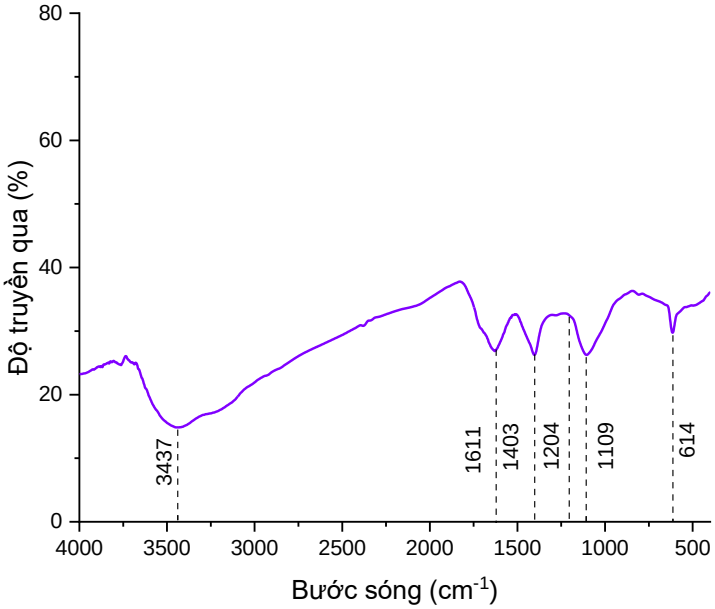
Kết quả XRD phù hợp tốt với ảnh TEM và biểu đồ phân bố kích thước hạt. Ảnh TEM (Hình 3.7a) của mẫu tối ưu cho thấy AgNPs hình thành chủ yếu có dạng gần cầu và phân tán tương đối đồng đều với kích thước trung bình 8,14 ± 3,47 nm (SD, n =125). Kết quả này là bé hơn so với công bố của tác giả khi sử dụng dịch chiết lá chè nhưng không tối ưu hóa cho kích thước là 52 nm [1], là 10 nm [16].

Phân bố kích thước hạt (Hình 3.7b) xác định 125 hạt đo cho giá trị trung bình 7,15 ± 0,11 nm, trong đó phần lớn hạt tập trung trong khoảng 4 – 10 nm. Tuy nhiên, phân bố vẫn xuất hiện kéo dài về phía kích thước 24 nm, cho thấy mẫu chưa hoàn toàn đơn phân tán mà còn tồn tại một lượng nhỏ hạt kết tụ thành hạt lớn hơn.



Hình 3.7. Ảnh TEM (a) phân bố kích thước (b) của AgNPs tổng hợp tối ưu.

Phổ FTIR của mẫu tối ưu xuất hiện các dải rộng quanh bước sóng 3437 cm^{-1}, đặc trưng cho dao động hóa trị O–H của polyphenol và protein trong dịch chiết lá chè; các đỉnh tại khoảng 1611 và 1403 cm^{-1} tương ứng các dao động biến dạng của nhóm C=O của nhóm chức carbonyl, còn vùng 1204–1109 cm^{-1} tương ứng dao động hóa trị của C–O của nhóm chức alcohol [5, 17]. Điều này chứng tỏ vật liệu AgNPs tổng hợp, có các nhóm chức chứa oxy của dịch chiết chè để bảo vệ và ổn định AgNPs [11]. Ngoài ra, dải ở vùng số sóng thấp 614 cm^{-1} tương ứng dao động Ag–O, cho biết các nhóm chức chứa O và N trong dịch chiết đã phối trí hoặc tương tác với bề mặt bạc kim loại.



Hình 3.8. Phổ FT-IR của AgNPs tổng hợp tối ưu.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, phương pháp bề mặt đáp ứng theo mô hình Box–Behnken được sử dụng để tối ưu hóa đồng thời ba yếu tố ảnh hưởng đến tổng hợp xanh AgNPs từ dịch chiết lá chè. Điều kiện tối ưu thu được là: nồng độ $AgNO_3$ 2,25 mM, pH = 9 và thể tích dịch chiết là 5,5 mL. AgNPs tổng hợp ở điều kiện này cho giản đồ XRD xuất hiện các đỉnh nhiễu xạ của mặt (111), (200), (220) và (311) với đỉnh ở mặt (111) có cường độ lớn nhất đặc trưng cho cấu trúc lập phương tâm mặt (fcc) của AgNPs. Kích thước tinh thể tính theo phương trình Scherrer là 8,8 nm khá tương đồng với kết quả TEM 8,14 ± 3,47 nm, cho thấy sự tương quan giữa hai phương pháp. Phổ hồng ngoại FTIR chứng tỏ các nhóm chức trong dịch chiết lá chè vừa đóng vai trò tác nhân khử ion Ag^+ vừa là chất bao phủ bề mặt, hạn chế sự kết tụ và góp phần ổn định hệ của các hạt AgNPs.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] S. G. Ali *et al.*, "Green Synthesis of Silver Nanoparticles from Camellia sinensis and Its Antimicrobial and Antibiofilm Effect against Clinical Isolates," *Materials (Basel).*, vol. 15, no. 19, 2022, doi: 10.3390/ma15196978.

[2] M. Dhanalakshmi and V. Losetty, "Synthesis of sustainable silver nanoparticles using plant extract and their antimicrobial, anticancer, and photocatalytic dye degradation efficiency analysis," *Process Biochem.*, vol. 144, no. May, pp. 64–78, 2024, doi: 10.1016/j.procbio.2024.05.026.

[3] M. Khan *et al.*, "Antibacterial properties of silver nanoparticles synthesized using Pulicaria glutinosa plant extract as a green bioreductant," *Int. J. Nanomedicine*, vol. 9, no. 1, pp. 3551–3565, 2014, doi: 10.2147/IJN.S61983.

[4] S. U. Khan *et al.*, "Nanosilver: New ageless and versatile biomedical therapeutic scaffold," *Int. J. Nanomedicine*, vol. 13, pp. 733–762, 2018, doi: 10.2147/IJN.S153167.

[5] S. Shahzadi, S. Fatima, Q. Ul Ain, Z. Shafiq, and M. R. S. A. Janjua, "A review on green synthesis of silver nanoparticles (SNPs) using plant extracts: A multifaceted approach in photocatalysis, environmental remediation, and biomedicine," *RSC Adv.*, vol. 15, no. 5, pp. 3858–3903, 2025, doi: 10.1039/d4ra07519f.

[6] Y. Fang *et al.*, "Green synthesis of nano silver by tea extract with high antimicrobial activity," *Inorg. Chem. Commun.*, vol. 132, p. 108808, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.INOCHE.2021.108808.

[7] A. Bergal, G. H. Matar, and M. Andac, "Olive and green tea leaf extracts mediated green synthesis of silver nanoparticles (AgNPs): comparison investigation on characterizations and antibacterial activity," *Bionanoscience*, vol. 12, pp. 1–15, Jun. 2022, doi: 10.1007/s12668-022-00958-2.

[8] M. Nakhjavani, M. Sarafraz, V. Nikkhah, S. Shoja, and M. Sarafraz, "Green Synthesis of Silver Nanoparticles using Green Tea Leaves: Experimental Study on the Morphological, Rheological and Antibacterial Behaviour," *Heat Mass Transf.*, vol. 53, Oct. 2017, doi: 10.1007/s00231-017-2065-9.

[9] A. Nandal and . S., "Green synthesis of silver nanoparticles using green tea (Camellia sinensis) and their catalytic & antibacterial uses," *Int. J. Chem. Stud.*, vol. 13, no. 2, pp. 85–98, 2025, doi: 10.22271/chemi.2025.v13.i2a.12619.

[10] A. Demir, "Green-synthesized silver nanoparticles from Camellia sinensis: mechanistic insights into phenolic-mediated multifunctional biological activities," *BMC Plant Biol.*, vol. 25, no. 1, 2025, doi: 10.1186/s12870-025-07881-0.

[11] M. Türkkan, "Utilizing Plackett–Burman and Box–Behnken Designs for Plant Extract–Based AgNP Synthesis Optimization: Unveiling Antifungal Potential Against Phytophthora Species," *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Derg.*, vol. 28, no. 2, pp. 516–534, 2025, doi: 10.18016/ksutarimdoga.vi.1523681.

[12] B. Thị, M. Ỹ Hiền, N. Thị, and L. A. N. Hương, "T Ô ̉ NG H Ơ ̣ P XANH VÀ KHẢO SÁT ĐỘNG HỌC XÚC TÁC CỦA NANO BẠC THU ĐƯƠ ̣ C TỪ CHIẾT XUẤT HOA AGLAIA DUPERREANA," 2023.

[13] T. H. Lê, T. K. C. Nguyễn, T. T. H. Nguyễn, and T. H. Trần, "Tổng Hợp Xanh Nano Bạc Trên Chấm Lượng Tử Carbon," *Hue Univ. J. Sci. Nat. Sci.*, vol. 134, no. 1A, pp. 13–20, 2025, doi: 10.26459/hueunijns.v134i1a.7427.

[14] T. H. Nguyen, N. V. Phu, L. T. Hoa, and T. H. Tran, "Green synthesis of silver nanomaterials using Ganoderma Lucidum extract as reducing agent and stabilizer with ultrasonic assistance and application as an antibacterial agent," vol. 132, no. 1, pp. 15–23, 2023, doi: 10.26459/hueunijns.v132i1D.7018.

[15] N. Trần, H. Yên, N. Thị, N. Hà, and M. Thắm, "Nghiên cứu tổng hợp nano bạc bằng hóa học xanh sử dụng dịch chiết vỏ quả măng cụt (G arcinia mangostana L .) ứ ng dụng kháng khuẩn," pp. 177–184, 2024.

[16] Phạm Ngọc Thuật, "Tổng Hợp Xanh Nano Bạc Sử Dụng Dịch Chiết Lá Chè Và Đánh Giá Hoạt Tính Kháng Khuẩn Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Tea Leaf Extract and Evaluation of Antibacterial Acitivity," *Tạp chí phân tích Hóa, Lý và Sinh học*, vol. 28, no. 4, pp. 188–193, 2022.

[17] D. H. Nguyen *et al.*, "Green silver nanoparticles formed by Phyllanthus urinaria, Pouzolzia zeylanica, and scoparia dulcis leaf extracts and the antifungal activity," *Nanomaterials*, vol. 10, no. 3, 2020, doi: 10.3390/nano10030542.

OPTIMIZATION OF THE GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES FROM TEA LEAF EXTRACT VIA BOX–BEHNKEN DESIGN

Le Thi Hoa[1*], Nguyen Thi Thu Huong[1], Nguyen Duc Vu Quyen[1], Phan Thi Viet Ha[2]

[1]Faculty of Chemistry, University of Sciences, Hue University

[2]Faculty of Environment and Natural Sciences, Duy Tan University

* Email: lethihoa@husc.edu.vn

ABSTRACT

In this study, an aqueous extract of fresh *Camellia sinensis* leaves grown in Hue city was employed as both a reducing and capping agent for the green synthesis of silver nanoparticles (AgNPs). The effects of $AgNO_3$ concentration, pH, and extract volume were first investigated using a one-factor-at-a-time approach to define the initial working range, and then optimized simultaneously using response surface methodology based on a Box–Behnken design. The optimal synthesis conditions were selected based on UV–Vis spectra exhibiting a high surface plasmon resonance peak intensity and a narrow full width at half maximum (FWHM), corresponding to an $AgNO_3$ concentration of 2.25 mM, an extract volume of 5.5 mL, and a pH of 9. AgNPs obtained under these conditions were characterized by TEM, revealing an average particle size of 8.14 ± 3.47 nm, by XRD, confirming a face-centered cubic crystalline structure, and by FTIR to elucidate the protective role of functional groups present in the tea leaf extract.

Key words: Nano Ag, green synthesis, tea leaf extract, optimization.