

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

-----o0o-----



**NGUYỄN MINH ĐẠT**

**NGHIÊN CỨU TỔNG HỢP VẬT LIỆU COMPOSITE  
BẠC/GRAPHENE OXIDE ỨNG DỤNG  
TRONG KHÁNG KHUẨN**

**Ngành: Kỹ thuật Hóa học  
Mã số ngành: 9520301**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ**

**TP. HỒ CHÍ MINH, THÁNG 5 NĂM 2025**

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn: PGS. TS NGUYỄN HỮU HIẾU

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án họp tại

.....  
.....  
vào lúc            giờ            ngày            tháng            năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM
- Thư viện Đại học Quốc gia Tp.HCM
- Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp.HCM

## CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

### 1.1. Tính cấp thiết

Ngày nay, vật liệu nano được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như môi trường (xúc tác xử lý ô nhiễm, cảm biến các chất ô nhiễm, hấp phụ, v.v.), y tế (cảm biến sinh học, vật liệu kháng khuẩn, v.v.), năng lượng (pin năng lượng mặt trời, xúc tác phản ứng tách nước tạo  $H_2$ , v.v.), và nông nghiệp (diệt nấm, khuẩn gây hại trên cây trồng, sát trùng chuồng trại, v.v.). Do đó, việc nghiên cứu tổng hợp vật liệu nano luôn thu hút sự quan tâm của nhiều nhà khoa học trên thế giới cũng như trong nước. Các phương pháp tổng hợp truyền thống như khử hóa học hoặc chiếu xạ có hiệu quả cao, nhưng chi phí cao hoặc có thể tạo ra các sản phẩm phụ nguy hiểm. Những năm gần đây, sử dụng dịch chiết từ thực vật làm tác nhân khử cho thấy hiệu quả cao, chi phí thấp, và thân thiện môi trường. Nano bạc (silver nanoparticles (AgNPs)) thể hiện khả năng kháng khuẩn cao với cơ chế như phá vỡ màng tế bào vi khuẩn, tạo ra các gốc tự do, và ức chế quá trình trao đổi chất của vi khuẩn. Trong khi đó, graphene oxide (GO) có cấu trúc lớp và tính chất hóa học độc đáo, giúp tăng cường khả năng phân tán và phân bố của AgNPs, đồng thời tăng độ ổn định của AgNPs. Sự kết hợp giữa AgNPs và GO mang lại hiệu quả kháng khuẩn cao hơn so với vật liệu AgNPs và GO riêng rẽ giúp mở rộng phạm vi ứng dụng của vật liệu trong các ngành công nghiệp như sản xuất vải và màng kháng khuẩn.

Bên cạnh đó, xu hướng hiện nay đang quan tâm đến các phương pháp tổng hợp vật liệu thân thiện với môi trường. Các chất khử truyền thống có thể gây ra tác động tiêu cực đến môi trường hoặc tạo ra sản phẩm phụ không mong muốn. Do đó, sử dụng các chất khử glucose hoặc dịch chiết từ thực vật (củ nghệ) trong quá trình tổng hợp Ag/GO giúp tăng tính an toàn cho sản phẩm, có thể giảm chi

phí sản xuất, và ít tác động môi trường. Điều này phù hợp với xu hướng phát triển bền vững trong nghiên cứu và sản xuất vật liệu.

Phát triển Ag/GO không chỉ đáp ứng nhu cầu thực tiễn về vật liệu kháng khuẩn trong các ngành công nghiệp mà còn mang lại những lợi ích kinh tế và xã hội. Chế tạo các loại vải kháng khuẩn từ vật liệu này có thể giúp ngăn ngừa nhiễm khuẩn trong môi trường y tế. Màng có thêm Ag/GO có thể bảo vệ thực phẩm khỏi vi khuẩn gây hại, kéo dài thời gian bảo quản, và giảm lãng phí. Những đóng góp này giúp nâng cao chất lượng cuộc sống, bảo vệ sức khỏe cộng đồng, và hướng tới phát triển bền vững.

Trên cơ sở đó, luận án được thực hiện với tên đề tài “**Nghiên cứu tổng hợp vật liệu composite bạc/graphene oxide ứng dụng trong kháng khuẩn**” nhằm tìm ra quy trình tổng hợp vật liệu phù hợp để chế tạo vải và màng kháng khuẩn định hướng ứng dụng trong y tế và bảo quản thực phẩm.

## **1.2. Mục tiêu nghiên cứu**

### ***1.2.1. Mục tiêu tổng quát***

Tổng hợp thành công vật liệu composite bạc@graphene oxide (Ag/GO) có khả năng kháng khuẩn cao để chế tạo vải và màng định hướng ứng dụng trong y tế và bảo quản thực phẩm.

### ***1.2.2. Mục tiêu cụ thể***

- Tìm ra điều kiện tổng hợp, kết luận về đặc trưng, và khả năng kháng khuẩn của Ag/GO tổng hợp bằng chất khử glucose (GL) và dịch chiết củ nghệ (CL);
- Kết luận về ảnh hưởng đồng thời của các yếu tố đến quá trình tổng hợp vật liệu Ag/GO-CL;
- Chọn được vật liệu phù hợp để chế tạo vải và màng kháng khuẩn;
- Tìm được quy trình chế tạo vải Ag/GO/poly(propylene) (Ag/GO/PP) có khả năng kháng khuẩn cao;

- Tìm được quy trình chế tạo màng Ag/GO/chitosan (Ag/GO/CTS) có khả năng kháng khuẩn và kết luận về ứng dụng của màng trong bảo quản chuối.

### 1.3. Nội dung nghiên cứu

Để thực hiện năm mục tiêu trên, luận án được tiến hành với ba nội dung chính sau.

**Nội dung 1:** Khảo sát điều kiện tổng hợp vật liệu, phân tích đặc trưng, thử nghiệm khả năng, và cơ chế kháng khuẩn của vật liệu Ag/GO bằng chất khử GL (Ag/GO-GL) và CL (Ag/GO-CL);

**Nội dung 2:** Khảo sát điều kiện chế tạo, phân tích đặc trưng, và thử nghiệm khả năng kháng khuẩn của vải Ag/GO-GL/PP;

**Nội dung 3:** Khảo sát điều kiện chế tạo, phân tích đặc trưng, thử nghiệm khả năng kháng khuẩn, và bảo quản chuối của màng Ag/GO-CL/CTS.

### 1.4. Ý nghĩa của luận án

*Về ý nghĩa khoa học:* Luận án đã tìm ra mức độ ảnh hưởng của các yếu tố như tỷ lệ các chất phản ứng, nhiệt độ, và thời gian đến quá trình tổng hợp vật liệu. Ngoài ra, bằng quy hoạch thực nghiệm, luận án đã thể hiện ảnh hưởng đồng thời của các yếu tố nhiệt độ, thời gian, và tỷ lệ tiền chất đến đặc trưng và khả năng kháng khuẩn của vật liệu Ag/GO.

*Về ý nghĩa thực tiễn:* Vật liệu Ag/GO tổng hợp được từ nghiên cứu của luận án có tiềm năng ứng dụng trong chế tạo vải và màng kháng khuẩn. Với đặc tính kháng khuẩn cao, vải Ag/GO-GL/PP có thể được sử dụng để sản xuất vải kháng khuẩn định hướng ứng dụng trong sản phẩm y tế giúp ngăn ngừa sự phát triển của vi khuẩn, giảm nguy cơ nhiễm khuẩn bảo vệ sức khỏe cộng đồng. Ngoài ra, màng Ag/GO-CL/CTS có khả năng bảo quản thực phẩm, đặc biệt là trái cây, bằng cách ngăn chặn vi khuẩn gây hại, kéo dài thời gian bảo quản và giảm lãng phí thực phẩm. Đây là giải pháp thân thiện với môi trường và đáp ứng nhu cầu bảo quản thực phẩm sạch và an toàn. Nghiên cứu với mục tiêu phát triển các sản phẩm có tính ứng dụng, phù hợp với nhu cầu phát triển bền vững của xã hội ngày nay.

### **1.5. Đóng góp của luận án**

Luận án đã tìm được quy trình tổng hợp vật liệu composite Ag/GO bằng hai chất khử GL và CL đã được tìm ra với đầy đủ thông số chi tiết từng công đoạn. Ảnh hưởng của tỷ lệ chất khử, nhiệt độ, thời gian phản ứng, và pH được khảo sát chi tiết và tìm ra được điều kiện phù hợp để tổng hợp Ag/GO có khả năng kháng khuẩn cao. Quy trình chế tạo và biến tính vải kháng khuẩn được đưa ra trong luận án giúp lớp Ag/GO bám tốt trên bề mặt PP và duy trì hiệu quả kháng khuẩn. Ngoài ra, luận án còn đề xuất quy trình chế tạo màng kháng khuẩn từ chitosan kết hợp vật liệu composite Ag/GO. Màng này có khả năng kháng khuẩn tốt, độ bền cơ học tốt và có tính tương thích sinh học, thích hợp để ứng dụng trong bao gói thực phẩm, giúp kéo dài thời gian bảo quản, và đảm bảo chất lượng sản phẩm.

### **1.6. Tính mới của luận án**

Luận án đã nghiên cứu tổng hợp và so sánh hai loại vật liệu Ag/GO sử dụng hai chất khử là glucose và dịch chiết củ nghệ; và xác định được chất khử phù hợp cho từng ứng dụng thực tế khác nhau. Yếu tố ảnh hưởng đến quá trình tổng hợp như tỷ lệ chất khử, nhiệt độ, và thời gian phản ứng được nghiên cứu chi tiết nhằm xác định điều kiện tổng hợp phù hợp cải thiện đặc trưng và khả năng kháng khuẩn của Ag/GO so với vật liệu riêng rẽ AgNPs và GO.

Luận án đã ứng dụng vật liệu Ag/GO tổng hợp được để chế tạo vải và màng kháng khuẩn. Vải Ag/GO-GL/PP với đặc tính kháng khuẩn cao nên được định hướng ứng dụng trong y tế như chế tạo khẩu trang hay băng gạc. Đối với màng Ag/GO-CL/CTS với khả năng kháng khuẩn cao nên kéo dài thời gian bảo quản thực phẩm cũng như dư lượng bạc thấp đảm bảo tính an toàn khi sử dụng.

## CHƯƠNG 2. THỰC NGHIỆM

### 2.1. Tổng hợp và khảo sát điều kiện tổng hợp, phân tích đặc trưng, và thử nghiệm khả năng kháng khuẩn của vật liệu Ag/GO-GL và Ag/GO-CL

#### 2.1.1. Đối với chất khử GL

##### 2.1.1.1. Tổng hợp và khảo sát điều kiện tổng hợp vật liệu Ag/GO-GL

- Tổng hợp GO
- Tổng hợp vật liệu Ag/GO-GL
- Khảo sát điều kiện tổng hợp vật liệu Ag/GO-GL

##### 2.1.1.2. Phân tích đặc trưng của vật liệu Ag/GO-GL

Đặc trưng của vật liệu được phân tích bằng các phương pháp: UV-Vis, XRD, FTIR, Raman, SEM-EDS, TEM, XPS.

##### 2.1.1.3. Thử nghiệm khả năng kháng khuẩn và nghiên cứu cơ chế kháng khuẩn

Khả năng kháng khuẩn của Ag/GO-GL, AgNPs, và GO được khảo sát bằng hai phương pháp đo mật độ quang và đếm khuẩn lạc trên đĩa.

Dựa trên các cơ chế kháng khuẩn đã được đề xuất, hai cơ chế hình thành gốc tự do và tương tác với tế bào vi khuẩn của vật liệu Ag/GO được thử nghiệm. Đầu tiên, sự thay đổi đường kính vòng kháng khuẩn của vật liệu khi thêm vào mẫu Ag/GO-GL những chất bắt gốc tự do khác nhau để chứng minh sự hình thành gốc tự do. Tương tác giữa Ag/GO và tế bào vi khuẩn được đánh giá qua ảnh tế bào vi khuẩn được phân tích bằng ảnh SEM.

#### 2.1.2. Đối với chất khử CL

##### 2.1.2.1. Chuẩn bị dịch chiết từ CL

##### 2.1.2.2. Khảo sát điều kiện tổng hợp AgNPs

##### 2.1.2.3. Khảo sát ảnh hưởng đồng thời của các yếu tố đến quá trình tổng hợp Ag/GO-CL

##### 2.1.2.4. Phân tích đặc trưng vật liệu

Đặc trưng của vật liệu được phân tích bằng phương pháp tương tự như Mục 2.1.1.2. Ngoài ra, AFM được sử dụng để phân tích cấu trúc bề mặt vật liệu.

*2.1.2.4. Thử nghiệm khả năng kháng khuẩn*

**2.1.3. So sánh điều kiện tổng hợp, đặc trưng và khả năng kháng khuẩn của Ag/GO-CL so với Ag/GO-GL**

**2.2. Chế tạo, khảo sát điều kiện chế tạo, phân tích đặc trưng, và thử nghiệm khả năng kháng khuẩn của Ag/GO-GL/PP**

**2.2.1. Chế tạo và khảo sát điều kiện chế tạo**

- Tiền xử lý bề mặt PP
- Chế tạo Ag/GO-GL/PP
- Biến bề mặt Ag/GO-GL/PP

**2.2.2. Thử nghiệm khả năng kháng khuẩn**

**2.2.3. Phân tích đặc trưng của vải**

**2.2.4. Đánh giá độ bền**

**2.3. Chế tạo, khảo sát điều kiện chế tạo, phân tích đặc trưng, thử nghiệm khả năng kháng khuẩn, và bảo quản chuỗi của màng Ag/GO-CL/CTS**

**2.3.1. Chế tạo và khảo sát điều kiện chế tạo màng**

**2.3.2. Đặc trưng của màng**

**2.3.3. Thử nghiệm khả năng kháng khuẩn của màng**

**2.3.4. Thử nghiệm bảo quản chuỗi**

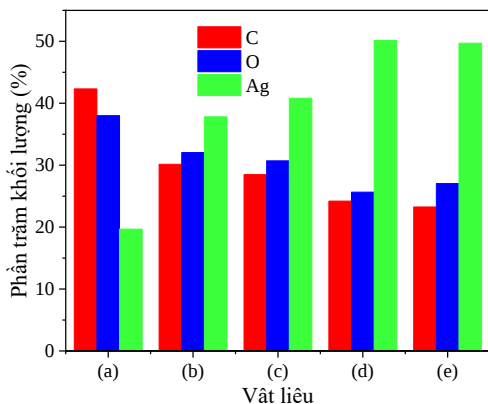
## CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

### 3.1. Ảnh hưởng của điều kiện tổng hợp đến đặc trưng và khả năng kháng khuẩn của vật liệu Ag/GO-GL và Ag/GO-CL

#### 3.1.1. Vật liệu Ag/GO-GL

*3.1.1.1. Ảnh hưởng điều kiện tổng hợp đến độ hấp thu, kích thước AgNPs, tỷ lệ thành phần nguyên tố của vật liệu Ag/GO-GL*

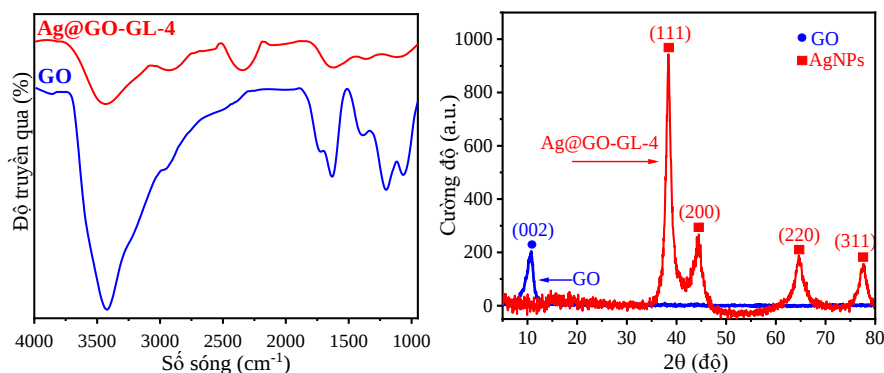
Ảnh hưởng của tỷ lệ GL:AgNO<sub>3</sub>, nhiệt độ, thời gian, và tỷ lệ AgNO<sub>3</sub>:GO đến quá trình tổng hợp Ag/GO-GL được nghiên cứu. Kết quả cho thấy, tỷ lệ GL:AgNO<sub>3</sub> là 1:1, nhiệt độ phản ứng 60°C, thời gian phản ứng 60 phút, và tỷ lệ AgNO<sub>3</sub>:GO là 1:1 là điều kiện phù hợp tìm được. Như trình bày ở Hình 3.1, kết quả EDS cho thấy Ag/GO-GL-4 và Ag/GO-GL-5 lần lượt có thành phần khối lượng Ag lần lượt là 50,15 và 49,70% khối lượng. Qua kết quả khảo sát, tỷ lệ khối lượng GL:AgNO<sub>3</sub>:GO phù hợp tìm được là 1:1:1, với nhiệt độ phản ứng và thời gian phản ứng lần lượt là 60°C và 60 phút. Vật liệu tổng hợp ở điều kiện phù hợp tương ứng là Ag/GO-GL-4 được chọn để phân tích đặc trưng.



**Hình 3.1.** Thành phần khối lượng của các nguyên tố của vật liệu (a) Ag/GO-GL-1, (b) Ag/GO-GL-2, (c) Ag/GO-GL-3, (d) Ag/GO-GL-4, và (e) Ag/GO-GL-5 lần lượt tương ứng với tỷ lệ AgNO<sub>3</sub>:GO là 1:4; 2:4; 3:4; 4:4; và 5:4

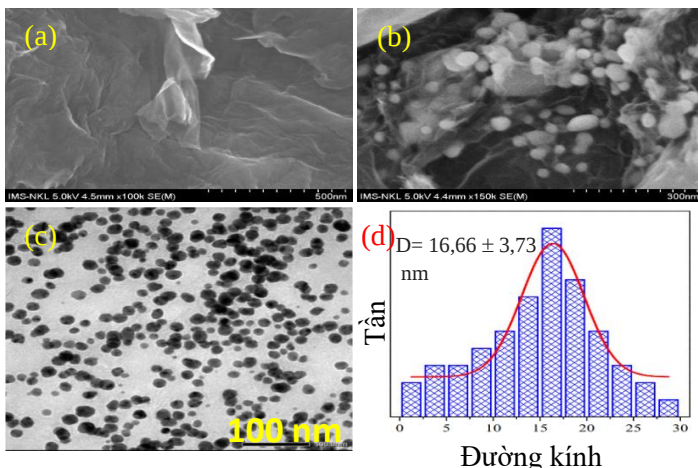
#### 3.1.1.2. Đặc trưng của vật liệu GO và Ag/GO-GL-4

Như trình bày ở Hình 3.2(a), phổ FTIR của GO ở cho thấy có sự xuất hiện của các nhóm chức chứa oxy trong cấu trúc của GO thông qua quá trình oxy hóa Gi. Phổ FTIR của Ag/GO-GL-4 có sự tương đồng với GO, tuy nhiên cường độ dao động các nhóm chức chứa oxy giảm so với GO. Như trình bày ở Hình 3.2(b), đỉnh nhiễu xạ của GO tại  $2\theta = 10,6^\circ$  cho thấy GO được tổng hợp thành công từ Gi. Giản đồ XRD của Ag/GO-GL-4 xuất hiện các đỉnh nhiễu xạ ở  $2\theta = 78,4; 65,2; 44,5; \text{ và } 38,7^\circ$  tương ứng với mặt phẳng tinh thể (311), (220), (200) và (111) của AgNPs trên các tấm GO. Các kết quả rất phù hợp với dữ liệu XRD (JCPDS số 04-0783) đối với kim loại Ag cấu trúc lập phương tâm mặt. Thêm vào đó, AgNPs liên kết với GO làm tăng khoảng cách giữa các tấm GO, giúp GO tách lớp tốt hơn, do đó cường độ đỉnh nhiễu xạ của GO gần như không xuất hiện ở giản đồ XRD của Ag/GO-GL-4.

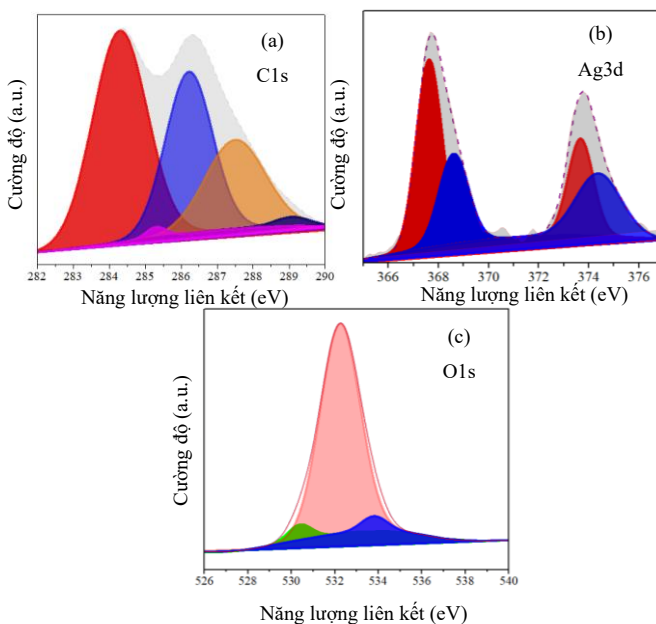


**Hình 3.2.** (a) Phổ FTIR và (b) giản đồ XRD của Ag/GO-GL-4 và GO

Hình 3.4(a) cho thấy GO có dạng tấm với nhiều nếp gấp xếp chồng lên nhau. Hình 3.4(b) cho thấy các nếp gấp của GO giảm đáng kể khi được liên kết với AgNPs. Dựa vào ảnh TEM có thể thấy được kích thước AgNPs trong khoảng 10 – 25 nm và kích thước hạt trung bình là  $16,66 \pm 3,73$  nm như được trình bày ở biểu đồ phân bố kích thước hạt Hình 3.4(d).



**Hình 3.3.** Ảnh SEM của (a) GO và (b) Ag/GO; (c) ảnh TEM; và (d) phân bố kích thước AgNPs của Ag/GO-4



**Hình 3.4.** Phổ XPS của (a) C1, (b) Ag 3d và (c) O1 của Ag/GO-4

Phổ XPS của vật liệu Ag/GO-GL-4 được trình bày ở Hình 3.4. Phổ XPS của Ag/GO-GL-4 có đỉnh đặc trưng của C1s và O1s lần lượt ở 282 – 289 và 528 – 538

eV, tương tự như của GO. Hai đỉnh tại 368,2 và 373,5 eV đặc trưng cho Ag, và tương ứng với Ag 3d<sub>3/2</sub> và Ag 3d<sub>5/2</sub>, cho thấy có sự hiện diện của Ag<sup>0</sup> trong cấu trúc của Ag/GO-GL-4. Ngoài ra đỉnh tại 369,2 và 374,8 eV đặc trưng cho nguyên tố Ag tồn tại ở hóa trị (I).

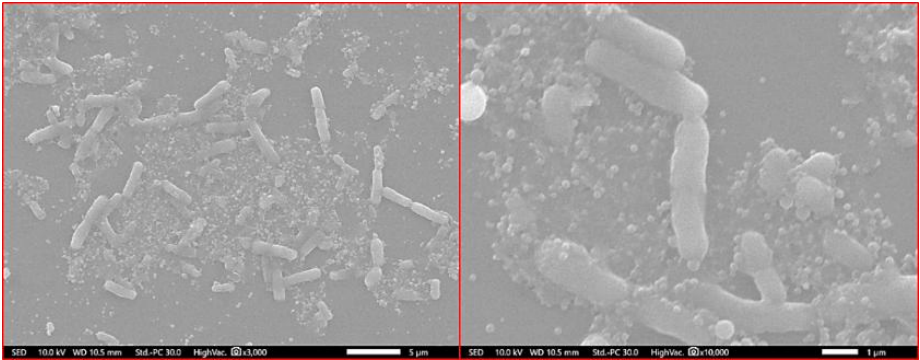
3.1.1.3. Khả năng và cơ chế kháng khuẩn của Ag/GO-GL

Khả năng kháng khuẩn của Ag/GO-GL ở các tỷ lệ tiền chất AgNO<sub>3</sub>:GO khác nhau được thử nghiệm đối với *S. enterica* được trình bày ở Bảng 3.1. Kết quả cho thấy khả năng kháng khuẩn của vật liệu Ag/GO-GL hợp tăng lên khi AgNO<sub>3</sub>:GO tăng và cao hơn so với GO. Ag/GO-5 và Ag/GO-4 có hoạt tính kháng khuẩn cao nhất trong số các vật liệu được tổng hợp.

**Bảng 3.1.** Khả năng kháng khuẩn của Ag/GO-GL

| TT | Vật liệu      | Số khuẩn lạc |
|----|---------------|--------------|
| 1  | Ag/GO-GL-5    | 3            |
| 2  | Ag/GO-GL-4    | 4            |
| 3  | Ag/GO-GL-3    | 27           |
| 4  | Ag/GO-GL-2    | 30           |
| 5  | Ag/GO-GL-1    | 121          |
| 6  | GO            | 155          |
| 7  | Đối chứng (-) | >300         |

Chất bắt gốc tự do làm giảm nồng độ các gốc tự do sinh ra trong môi trường phản ứng, từ đó ức chế quá trình oxy hóa tế bào vi khuẩn. Kết quả chứng minh vai trò của các gốc tự do trong hoạt tính khuẩn của Ag/GO-GL-4. Hình 3.5 cho thấy tiếp xúc giữa tế bào vi khuẩn có hình dạng giống que với Ag/GO-GL-4, trong đó kích thước *S. enterica* khoảng từ 4,3 – 5,5 μm. Ở độ phóng đại cao hơn (hình bên phải), cho thấy các tế bào vi khuẩn bị bao lấy bởi các hạt nhỏ hình cầu có thể là AgNPs, dẫn đến sự biến dạng và co rút trong màng tế bào.



**Hình 3.5.** Ảnh SEM của tế bào *S. enterica* khi tiếp xúc với Ag/GO-GL-4

### 3.1.2. Vật liệu Ag/GO-CL

3.1.2.1. Ảnh hưởng của thời gian phản ứng, nhiệt độ, thể tích  $\text{AgNO}_3$ , và pH đến đặc trưng của AgNPs

Qua kết quả khảo sát cho thấy điều kiện tổng hợp AgNPs phù hợp là thời gian phản ứng 35 phút ở  $60^\circ\text{C}$ , phản ứng ở pH 10 với tỷ lệ thể tích  $\text{AgNO}_3$ /dịch chiết là 0,8. Theo đó, các yếu tố thời gian phản ứng, nhiệt độ, và tỷ lệ thể tích  $\text{AgNO}_3$ /dịch chiết được chọn cho nghiên cứu ảnh hưởng đồng thời của ba yếu tố này với khoảng khảo sát lần lượt là [20; 40], [40; 80], và [0,6; 1,0] theo mô hình CCD.

3.1.2.2. Ảnh hưởng đồng thời của thời gian, nhiệt độ, và tỷ lệ  $\text{AgNO}_3$ /dịch chiết đến kích thước hạt AgNPs trên các tấm GO

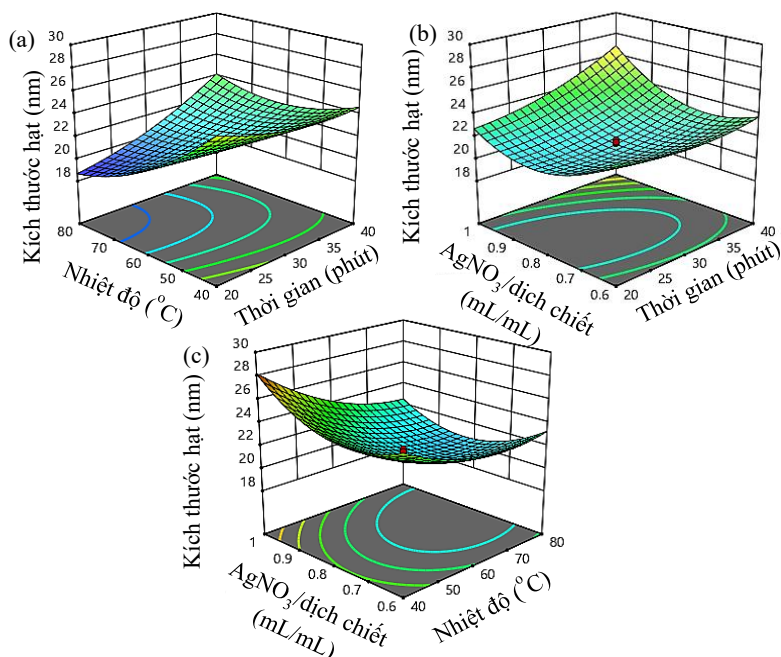
Kết quả phân tích phương sai (ANOVA) từ mô hình. Dữ liệu thu được cho thấy mô hình có ý nghĩa thống kê, với giá trị F tương đối cao (69,49) và giá trị p thấp ( $p < 0,0001$ ). Hệ số tương quan ( $R^2$ ) của mô hình là 0,98 cho thấy rằng 98% thay đổi về kích thước AgNPs bị ảnh hưởng đáng kể bởi các biến độc lập.  $R^2$  dự đoán được xác định là 0,89; trong khi  $R^2$  điều chỉnh là 0,97; khẳng định sự phù hợp giữa thực nghiệm và dự đoán.

Mối quan hệ giữa biến độc lập và biến phụ thuộc được trình bày ở Phương trình (3.1).

$$\begin{aligned} \text{Kích thước hạt (nm)} = & 21,33 + 0,9858A - 1,99B + 0,468C + 1,77AB \\ & + 1,09AC - 0,8485BC + 0,763A^2 + 1,33B^2 + 2,24C^2 \end{aligned} \quad (3.1)$$

Ảnh hưởng đồng thời của điều kiện tổng hợp đến kích thước AgNPs được trình bày ở Hình 3.6. Theo đó, tác động đồng thời của từng cặp yếu tố tạo ra bề mặt lõm, cho thấy xu hướng sự giảm và tăng tương ứng của kích thước hạt AgNPs. thời gian phản ứng là 33,7 phút, nhiệt độ 59,2°C và tỷ lệ AgNO<sub>3</sub>/dịch chiết là 0,95 mL/mL, kích thước hạt được xác định là 24,87 nm. Ở các điều kiện này, các thí nghiệm kiểm chứng được thực hiện, trong đó các thông số phản ứng được làm tròn thành 34 phút, 60°C và tỷ lệ AgNO<sub>3</sub>/dịch chiết là 1,0 mL/mL.

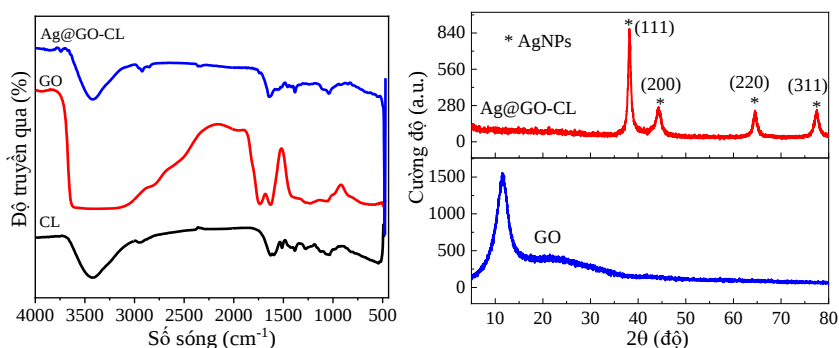
Theo kết quả thí nghiệm, kích thước AgNPs trên GO được xác định là 22,89 nm, với độ lệch nhỏ hơn 5% so với kết quả từ mô hình.



**Hình 3.6.** Ảnh hưởng đồng thời của (a) nhiệt độ và thời gian phản ứng, (b) tỷ lệ AgNO<sub>3</sub>/dịch chiết và thời gian phản ứng (c) AgNO<sub>3</sub>/tỷ lệ chiết và nhiệt độ đến kích thước hạt AgNPs

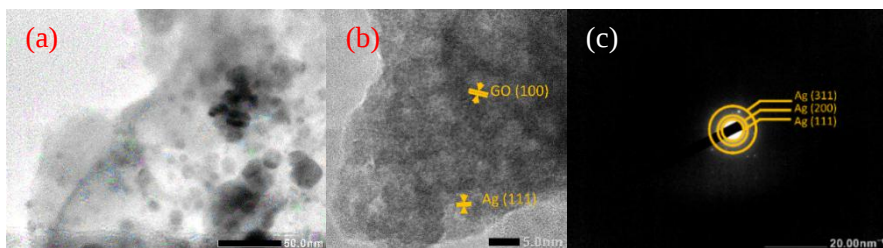
### 3.1.2.3. Đặc trưng của Ag/GO-CL

Như trình bày ở Hình 3.7(a), sự tương đồng về dao động trong phổ FTIR giữa những vật liệu Ag/GO-CL, GO, và dịch chiết CL cho thấy quá trình tổng hợp  $\text{Ag}^+$  thành AgNPs không làm thay đổi cấu trúc của GO và kết quả còn cho thấy dịch chiết CL tham gia vào quá trình hình thành và ổn định AgNPs. Kết quả phân tích giản đồ XRD của Ag/GO-CL (Hình 3.7(b)) tương đồng với phổ chuẩn JCPDS số 89.3722. Cường độ của đỉnh (111) cũng cao hơn các đỉnh khác cho thấy tinh thể AgNPs định hướng phát triển theo mặt (111). Ngoài ra, đỉnh nhiễu xạ GO không còn xuất hiện trong giản đồ XRD của Ag/GO-CL có thể giải thích là do AgNPs giúp cho GO tách lớp tốt hơn và cường độ của đỉnh của AgNPs cao hơn đáng kể so với GO.

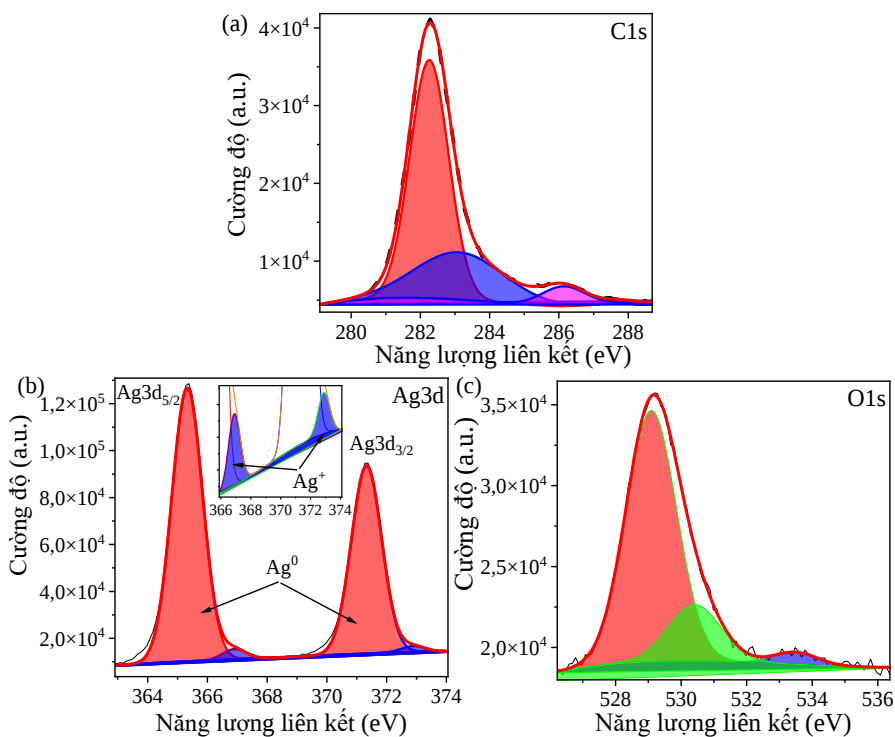


**Hình 3.7.** (a) Phổ FTIR dịch chiết CL, GO, và Ag/GO-CL và (b) Giản đồ XRD của GO và Ag/GO-CL

Ảnh TEM của Ag/GO-CL được trình bày ở Hình 3.8. Các hạt AgNPs tạo thành có kích thước trung bình từ 5 – 35 nm. Thêm vào đó, ảnh HR-TEM và nhiễu xạ có lựa chọn vùng cũng đã xác định được những mặt tinh thể đặc trưng của AgNPs. Kết quả thu được phù hợp với kết quả từ giản đồ XRD.



**Hình 3.8.** Ảnh (a) TEM, (b) HR-TEM, và (c) SEAD của Ag/GO-CL

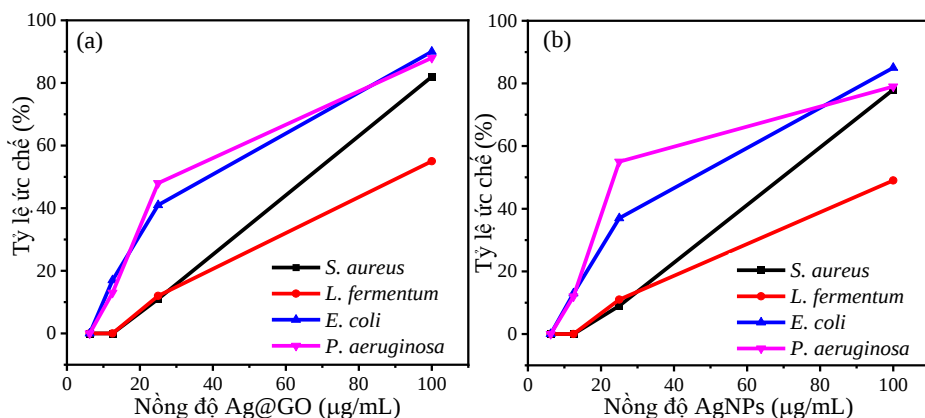


**Hình 3.9.** (a) Phổ XPS của Ag/GO-CL, (b) C1s, (c) Ag3d, và (d) O1s

Hình 3.10 trình bày phổ XPS của Ag/GO-CL có sự xuất hiện của liên kết đặc trưng của C1s, Ag3d, và O1s tương ứng tại những vị trí 282, 366, và 528 eV. Ngoài ra, phổ XPS của Ag3d cho thấy hai đỉnh ở 365,3 và 371,1 eV tương ứng

với  $\text{Ag}3\text{d}_{5/2}$  và  $\text{Ag}3\text{d}_{3/2}$ , tương ứng với năng lượng liên kết của Ag hóa trị 0. Phổ XPS phân giải cao của O1s đặc trưng cho liên kết C=O và C–O.

Như trình bày ở Hình 3.10, ở nồng độ 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  Ag/GO-CL có hoạt tính kháng khuẩn cao với % ức chế lần lượt là 90, 88, 82, và 55% lần lượt đối với *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. aureus*, và *L. fermentum*) và cao hơn đáng kể so với AgNPs, kết quả cho thấy vai trò quan trọng của GO trong cải thiện hoạt tính kháng khuẩn của AgNPs.



**Hình 3.10.** Khả năng kháng khuẩn của (a) Ag/GO-CL và (b) AgNPs

Kết quả so sánh cho thấy hai loại Ag/GO đều có khả năng kháng khuẩn tốt, hiệu quả kháng khuẩn của Ag/GO đối với mỗi loại vi khuẩn là khác nhau. Vật liệu Ag/GO-GL phù hợp cho việc phủ lên vải. GL là một loại đường đơn giản, khi tham gia vào quá trình tổng hợp Ag/GO, các sản phẩm phụ dễ loại bỏ, sản phẩm không chứa nhiều tạp chất là sản phẩm của quá trình khử. Nhờ đó, Ag/GO có khả năng bám dính tốt lên sợi vải, tạo nên lớp phủ bền. Kích thước hạt AgNPs của Ag/GO-GL nhỏ hơn so với Ag/GO-CL, giúp phân bố đều trên bề mặt vải, tạo ra lớp phủ không chỉ bền hơn về mặt cơ học. Ngược lại, Ag/GO-CL phù hợp hơn cho việc chế tạo màng bảo quản thực phẩm. Trong dịch chiết chiết từ CL có curcumin, không chỉ đóng vai trò làm chất khử trong quá trình tổng hợp Ag/GO mà còn là chất ổn định, giúp các hạt nano phân tán tốt hơn trong hệ

polymer khi chế tạo màng, hỗ trợ sự phân bố đồng đều của Ag/GO-CL. Hơn nữa, curcumin có hoạt tính chống oxy hóa mạnh, giúp bảo vệ polymer khỏi sự tấn công của các gốc tự do, từ đó kéo dài tuổi thọ của màng.

Trong luận án này, Ag/GO-GL và Ag/GO-CL lần lượt được sử dụng trong chế tạo vải và màng kháng khuẩn. Trong đó, loại vải được sử dụng để nghiên cứu là poly(propylene) và chitosan được sử dụng làm polymer trong chế tạo màng kháng khuẩn.

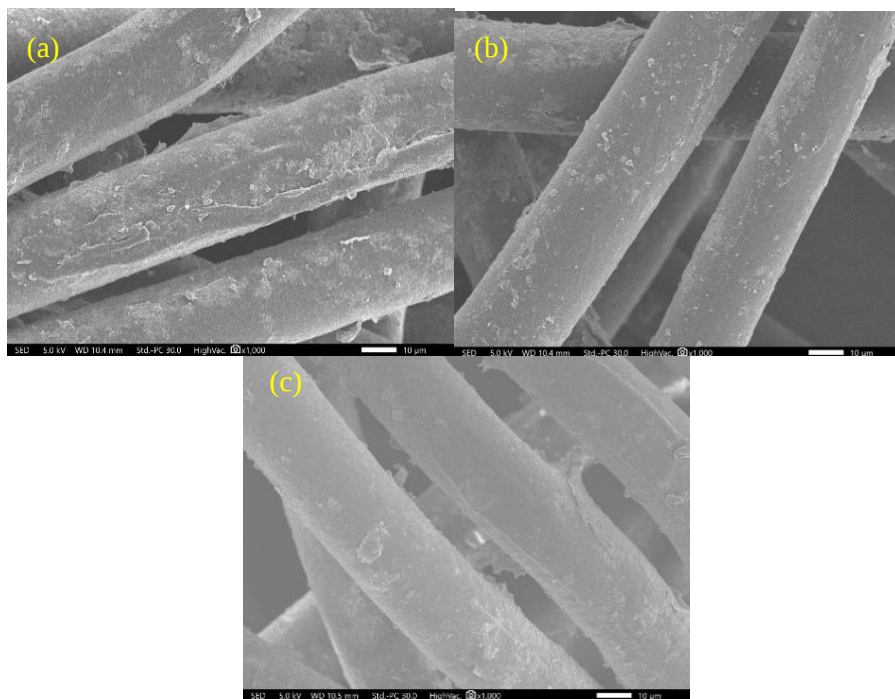
### **3.2. Ảnh hưởng của điều kiện chế tạo và biến tính bề mặt đến khả năng kháng khuẩn, đặc trưng, và độ bền lớp phủ Ag/GO-GL của vải Ag/GO-GL/PP**

#### ***3.2.1. Điều kiện chế tạo và biến tính bề mặt***

Phương pháp tiền xử lý vải PP bằng  $\text{HNO}_3$ /IPA giúp tăng khả năng liên kết của Ag/GO-GL-4, trong đó  $\text{HNO}_3$  có hiệu quả oxy hóa tốt hơn  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Số lần phủ nhúng và nồng độ Ag/GO-GL-4 ảnh hưởng đến khả năng kháng khuẩn. Ảnh FE-SEM cho thấy lớp Ag/GO-GL-4 phủ đều trên sợi PP. Biến tính bề mặt bằng khử GO hoặc phủ stearic acid giúp tăng tính kỵ nước nhưng ảnh hưởng khác nhau đến tính kháng khuẩn. Kết quả cho thấy phương pháp tiền xử lý  $\text{HNO}_3$ /IPA và phủ nhúng 4 lần tạo ra vải Ag/GO-GL-4/PP có hiệu quả kháng khuẩn cao nhất. Biến tính bề mặt ảnh hưởng đến góc tiếp xúc với nước và khả năng kháng khuẩn của Ag/GO-GL-4/PP/ $\text{HNO}_3$ -IPA. Tiền xử lý bằng  $\text{HNO}_3$ /IPA làm giảm tính kỵ nước của PP, trong khi biến tính bằng khử GO thành rGO hoặc phủ stearic acid (SA) giúp tăng độ kỵ nước. Mẫu Ag@rGO-GL-4/PP/ $\text{HNO}_3$ -IPA có góc tiếp xúc cao hơn nhưng khả năng kháng khuẩn giảm nhẹ do mất nhóm chức chứa oxygen, làm giảm tương tác với vi khuẩn. Ngược lại, Ag/GO-GL-4-SA/PP/ $\text{HNO}_3$ -IPA giữ nguyên hiệu quả kháng khuẩn nhờ SA có tính ức chế vi khuẩn, dù độ kỵ nước tăng.

### 3.2.2. Đặc trưng của vải Ag/GO-GL-4/PP trước và sau biến tính bề mặt kỵ nước

Cấu trúc dạng tấm mỏng của Ag/GO-GL-4 và Ag@rGO-GL-4 được trình bày lần lượt ở Hình 3.11(a) và (b). Vật liệu AgNPs trên cơ sở GO hoặc rGO liên kết và bao bọc sợi của PP. Bề mặt của Ag/GO-GL-4/PP/HNO<sub>3</sub>-IPA thô hơn nhiều so với Ag@rGO-GL-4/PP/HNO<sub>3</sub>-IPA có thể là do mất đi một phần GO trong quá trình khử GO thành rGO ở nhiệt độ cao [139]. Ảnh SEM của Ag/GO-GL-4-SA/PP/HNO<sub>3</sub>-IPA (Hình 3.11(c)) cho thấy cấu trúc dạng vảy của Ag/GO-GL-4. Kết quả chứng minh quá trình biến tính bằng SA không làm thay đổi tương tác giữa Ag/GO-GL-4 và sợi PP/HNO<sub>3</sub>-IPA.



**Hình 3.11.** Ảnh SEM của (a) Ag/GO-GL-4/PP/HNO<sub>3</sub>-IP,

(b) Ag@rGO-GL-4/PP/HNO<sub>3</sub>-IP, và (c) Ag/GO-GL-4-SA/PP/HNO<sub>3</sub>-IP

Phổ FTIR cho thấy không có đỉnh đặc trưng của GO hoặc rGO, chứng tỏ sự liên kết tốt giữa Ag/GO-GL-4 hoặc Ag@rGO-GL-4 với PP/HNO<sub>3</sub>-IPA. Một đỉnh mới

xuất hiện tại  $1717\text{ cm}^{-1}$  do liên kết C=O trong SA, khẳng định sự tương tác giữa các thành phần. Phân tích XRD cho thấy quá trình xử lý và phủ nhúng không làm thay đổi độ kết tinh của vải PP, dù cường độ nhiễu xạ giảm khi kết hợp với Ag/GO-GL-4 và Ag@rGO-GL-4.

Đặc biệt, mẫu Ag/GO-GL-4-SA/PP/HNO<sub>3</sub>-IPA có cường độ đỉnh thấp nhất, cho thấy sự lấp đầy không đồng đều của GO làm giảm độ kết tinh của PP. Tuy nhiên, tín hiệu từ PP vẫn chiếm ưu thế, che khuất đỉnh đặc trưng của GO, rGO và AgNPs.

### ***3.2.3. Độ bền của lớp phủ Ag/GO-GL-4 trên bề mặt vải***

Phân tích thành phần nguyên tố cho thấy Ag/GO-GL-4/PP/HNO<sub>3</sub>-IPA mất khoảng 40% Ag sau bốn chu kỳ giặt, trong khi Ag@rGO-GL-4/PP/HNO<sub>3</sub>-IPA chỉ giảm 2,26%, nhờ tính kỵ nước cao hơn của rGO giúp lớp phủ kháng khuẩn bền hơn. Khả năng kháng khuẩn của các mẫu sau giặt giảm nhưng vẫn hiệu quả, đặc biệt là Ag@rGO-GL-4/PP/HNO<sub>3</sub>-IPA do ít bị rửa trôi. Ag/GO-GL-SA/PP/HNO<sub>3</sub>-IPA giảm nhẹ nhưng ổn định nhờ lớp SA bảo vệ.

## **3.3. Ảnh hưởng điều kiện chế tạo đến đặc trưng, khả năng kháng khuẩn, và bảo quản chuỗi của màng Ag/GO-CL/CTS**

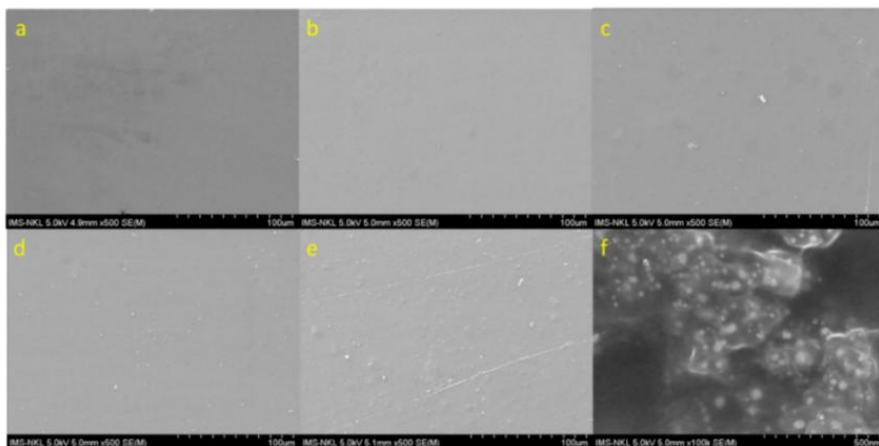
### ***3.3.1. Điều kiện chế tạo và đặc trưng***

Màng Ag/GO-CL/CTS có sự cải thiện đáng kể về cơ lý tính khi bổ sung Ag/GO-CL. Độ dày tăng từ 0,027 mm lên 0,047 mm, mô-đun đàn hồi cao nhất đạt 27,03 MPa (màng Ag/GO-CL/CTS-0.350-3). Độ trương nở tăng, nhưng tính thấm hơi nước giảm theo thời gian. Độ ẩm giảm từ 30,9% (CTS thuần túy) xuống 22,2%, góc tiếp xúc nước giảm còn 77,2°, cho thấy khả năng ưa nước cải thiện. Tính quang học thay đổi với độ mờ tăng lên 46,37, độ trong suốt giảm. Phổ FTIR, XRD xác nhận sự kết hợp thành công của Ag/GO-CL với chitosan. Phân tích TGA cho thấy màng ổn định nhiệt hơn, giữ lại 4,8% khối lượng ở

700°C. Ảnh FE-SEM cho thấy AgNPs phân bố đều trên bề mặt màng như trình bày ở Hình 3.12.

### 3.3.2. Khả năng kháng khuẩn của màng

Màng Ag/GO-CL/CTS-0.350 với hàm lượng Ag/GO-CL từ 1 – 4% được đánh giá khả năng kháng khuẩn trên *E. coli*, *P. aeruginosa*, và *S. enterica* bằng phương pháp đo đường kính vòng kháng khuẩn. Kết quả cho thấy màng có hiệu quả ức chế rõ với *E. coli* (22 mm) và *P. aeruginosa* (17 mm), nhưng chỉ có ức chế nhẹ đối với *S. enterica* (10 mm). Mặc dù không xuất hiện vòng kháng khuẩn rõ ràng, *S. enterica* vẫn bị hạn chế phát triển trên bề mặt màng. Hàm lượng Ag/GO-CL tăng, hiệu quả kháng khuẩn cũng tăng. Để kiểm chứng thêm, mẫu Ag/GO-CL/CTS-0.350-3 được thử nghiệm bằng phương pháp đếm khuẩn lạc theo thời gian tiếp xúc. Như trình bày ở Bảng 3. sau 3 – 6 giờ, số khuẩn lạc giảm mạnh (dưới 10 CFU), sau 9 – 24 giờ, gần như không còn khuẩn lạc. Điều này chứng tỏ màng có hiệu quả kháng khuẩn cao.



**Hình 3.12.** Ảnh FE-SEM của (a) CTS, (b) Ag/GO-CL/CTS-0.350-1, (c) Ag/GO-CL/CTS-0.350-2, (d) Ag/GO-CL/CTS-0.350-3, (e) Ag/GO-CL/CTS-0.350-4, và (f) Ag/GO-CL/CTS-0.350-3

**Bảng 3.2.** Khả năng kháng khuẩn của màng ở thời gian khác nhau

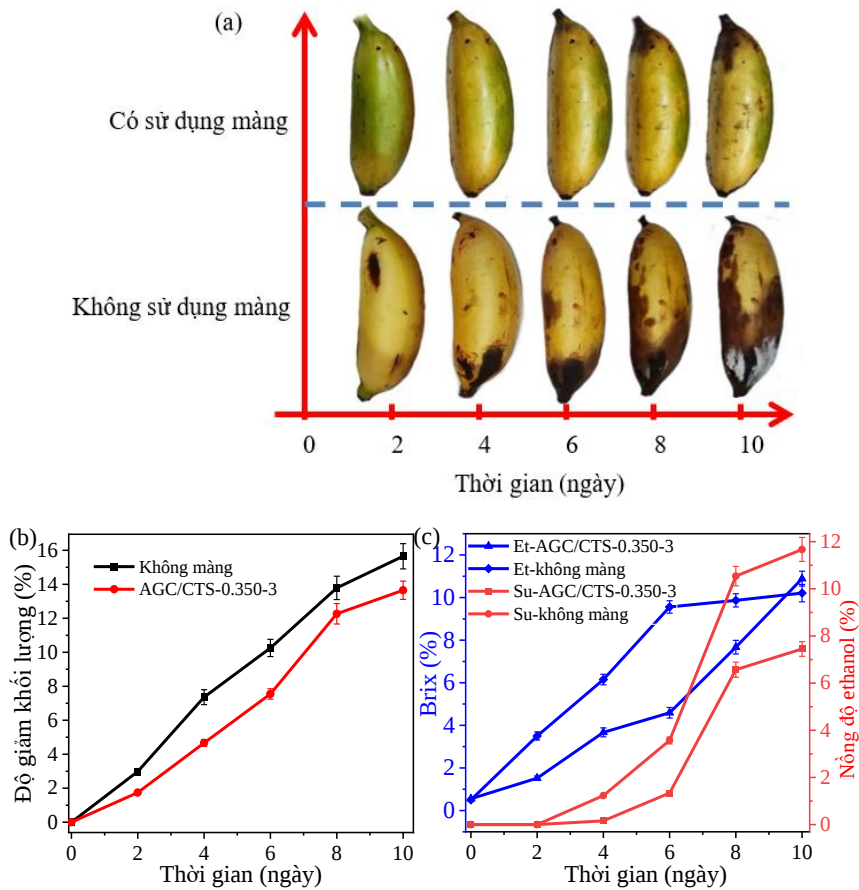
| TT | Thời gian (giờ) | Số khuẩn lạc     |                |
|----|-----------------|------------------|----------------|
|    |                 | <i>S. aureus</i> | <i>E. coli</i> |
| 1  | 3               | 8                | -              |
| 2  | 6               | 2                | 12             |
| 3  | 9               | -                | -              |
| 4  | 12              | 1                | -              |
| 5  | 24              | -                | -              |

“-” không phát hiện

**3.3.3. Khả năng bảo quản chuối**

Màng Ag/GO-CL/CTS-0.350-3 được thử nghiệm bảo quản chuối ở 30°C trong 10 ngày, đánh giá qua sự thay đổi màu sắc, độ giảm khối lượng, hàm lượng đường và ethanol như trình bày ở Hình 3.13. Ảnh chụp trong 10 ngày cho thấy vỏ chuối chuyển từ xanh sang vàng đến nâu đen. Đối với chuối không bọc màng, quá trình chín nhanh chỉ sau 2 ngày, hư hỏng nặng từ ngày 8 và đến ngày 10 xuất hiện nấm mốc trắng, chứng tỏ phần thịt bên trong đã hỏng. Ngược lại, chuối được bọc màng Ag/GO-CL/CTS-0.350-3 chín chậm hơn, vẫn giữ một số mảng xanh, cho thấy khả năng kéo dài thời gian chín và cải thiện chất lượng. Dù có màng nâu nhỏ ở cuống, nhưng không ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng bên trong. Kết quả này có thể do Ag/GO-CL/CTS-0.350-3 tăng cường khả năng kháng khuẩn, hạn chế vi khuẩn xâm nhập vào vỏ chuối. Về độ giảm khối lượng, cả hai mẫu đều giảm dần theo thời gian, nhưng chuối bọc màng giữ khối lượng tốt hơn, do hạn chế sự thất thoát hơi nước. Trong ngày 2 – 8, khối lượng chuối giảm nhanh hơn do sự truyền hơi nước mạnh, thúc đẩy quá trình chín ở mẫu không bọc màng. Phân tích hàm lượng đường và ethanol cho thấy chuối bọc màng Ag/GO-CL/CTS-0.350-3 chín chậm hơn và chưa bước vào giai đoạn lên men, nhờ màng hạn chế trao đổi khí và tiếp xúc với oxygen.

Hàm lượng bạc trong vỏ chuối bọc màng chỉ 0,0003 mg/kg, thấp hơn mức an toàn của WHO (0,1 mg/kg), đảm bảo an toàn khi sử dụng.



**Hình 3.13.** (a) Quả chuối được bảo quản trong điều kiện có và không có màng Ag/GO-CL/CTS-0.350-3 trong thời gian 10 ngày, (b) % giảm khối lượng và (c) hàm lượng đường (Su) và ethanol (Et) sau 10 ngày (Ag/GO-CL (AGC))

## CHƯƠNG 4. KẾT LUẬN

Trong luận án này, vật liệu composite bạc@graphene oxide (Ag/GO) được tổng hợp thành công từ hai tiền chất là graphene oxide (GO) và silver nitrate ( $\text{AgNO}_3$ ) sử dụng chất khử hóa học glucose (GL) và dịch chiết thực vật từ củ nghệ (*Curcuma longa* (CL)); có ký hiệu tương ứng là Ag/GO-GL và Ag/GO-CL. Vải Ag/GO-GL/PP được chế tạo bằng phương pháp phủ nhúng từ vật liệu Ag/GO-GL và vải poly(propylene) (PP). Đồng thời, màng Ag/GO-CL/CTS được chế tạo từ Ag/GO-CL và chitosan (CTS) bằng phương pháp đúc dung dịch. Điều kiện tổng hợp, đặc trưng, và khả năng kháng khuẩn của Ag/GO-GL, Ag/GO-CL, vải Ag/GO-GL/PP, và màng Ag/GO-CL/CTS được phân tích. Kết luận chi tiết được trình bày như sau.

Vật liệu Ag/GO-GL: Điều kiện tổng hợp như tỷ lệ  $\text{GL}:\text{AgNO}_3$ , nhiệt độ phản ứng, thời gian phản ứng, và  $\text{AgNO}_3:\text{GO}$  đều ảnh hưởng đáng kể đến quá trình hình thành các hạt nano bạc trên các tấm GO. Tỷ lệ khối lượng  $\text{GL}:\text{AgNO}_3:\text{GO}$  phù hợp là 1:1:1, nhiệt độ phản ứng  $60^\circ\text{C}$  trong thời gian 60 phút là điều kiện tổng hợp phù hợp tương ứng với vật liệu Ag/GO-GL-4. Kết quả phân tích nhiễu xạ tia X của Ag/GO-GL-4 cho thấy cấu trúc lập phương tâm mặt, đặc trưng của nano bạc (silver nanoparticles ( $\text{AgNPs}$ )) được hình thành trên các tấm GO. Phổ quang điện tử tia X cho thấy Ag/GO-GL-4 có các nhóm chức chứa oxygen đặc trưng của GO và Ag tồn tại ở hóa trị không đặc trưng của cấu trúc  $\text{AgNPs}$ . Kết quả phân tích kính hiển vi điện tử truyền qua cho thấy  $\text{AgNPs}$  giúp giảm độ dày của các tấm GO và phân bố đồng đều trên các tấm GO với kích thước trung bình  $16,66 \pm 3,73$  nm. Vật liệu Ag/GO-GL-4 có khả năng kháng cao đối với cả vi khuẩn Gram âm (*P. aeruginosa* và *S. enterica*) và Gram dương (*S. aureus*). Nồng độ ức chế 50% sự phát triển vi khuẩn của Ag/GO-GL-4 đối với *P. aeruginosa*, *S. enterica*, và *S. aureus* lần lượt là 0,9; 14,5; và 6,8  $\mu\text{g/mL}$ . Phân tích cơ chế kháng khuẩn cho thấy Ag/GO-GL-4 có khả năng kháng khuẩn

nhờ hình thành các gốc tự do và giải phóng ion  $\text{Ag}^+$ . Ngoài ra, Ag/GO-GL-4 có thể tiếp xúc trực tiếp làm biến dạng màng tế bào vi khuẩn góp phần vào quá trình kháng khuẩn.

Vật liệu Ag/GO-CL: Điều kiện tổng hợp như nhiệt độ phản ứng, thời gian phản ứng, thể tích  $\text{AgNO}_3$ , và pH đều có ảnh hưởng đến quá trình hình thành AgNPs. Điều kiện hợp là 1 mL dịch chiết, 800  $\mu\text{L}$  dung dịch  $\text{AgNO}_3$ , và nhiệt độ phản ứng  $60^\circ\text{C}$  trong thời gian 35 phút ở môi trường pH 10. Ảnh hưởng đồng thời của ba yếu tố thời gian, nhiệt độ, và tỷ lệ  $\text{AgNO}_3$ /dịch chiết được khảo sát bằng mô hình quy hoạch thực nghiệm theo phương pháp bề mặt đáp ứng và các thí nghiệm được thiết kế theo mô hình CCD. Điều kiện phù hợp để tổng hợp vật liệu Ag/GO-CL tìm được là thời gian phản ứng 35 phút ở nhiệt độ  $60^\circ\text{C}$  và tỷ lệ  $\text{AgNO}_3$ /dịch chiết là 0,65 tương ứng với vật liệu Ag/GO-CL thu được có kích thước hạt AgNPs trung bình 22,89 nm. Kết quả quy hoạch thực nghiệm đã cho thấy sự tương tác và ảnh hưởng đồng thời của ba yếu tố tổng hợp này đến kích thước hạt AgNPs hình thành trên các tấm GO. Kết quả phân tích nhiễu xạ tia X của Ag/GO-CL cho thấy cấu trúc lập phương tâm mặt, đặc trưng của nano bạc (AgNPs) được hình thành trên các tấm GO. Phổ quang điện tử tia X cho thấy Ag/GO-GL có các nhóm chức chứa oxygen đặc trưng của GO và Ag tồn tại ở hóa trị 0 đặc trưng của cấu trúc AgNPs. Kết quả phân tích kính hiển vi điện tử truyền qua cho thấy AgNPs giúp giảm độ dày của các tấm GO và phân bố đồng đều trên các tấm GO với kích thước trung bình 10 – 25 nm. Vật liệu Ag/GO-GL có khả năng kháng cao đối với cả vi khuẩn Gram âm và Gram dương. % ức chế vi khuẩn *S. aureus*, *E. coli*, và *P. aeruginosa* lần lượt là 82, 90, và 88% ở nồng độ Ag/GO-CL 100  $\mu\text{g/L}$ .

Vải kháng khuẩn Ag/GO-GL/PP: Được chế tạo từ vật liệu Ag/GO-GL và poly(propylene) (Ag/GO-GL/PP). Tiền xử lý poly(propylene) (PP) bằng  $\text{HNO}_3$  với dung môi isopropanol là phù hợp để cải thiện độ bám dính của Ag/GO-GL

lên bề mặt PP. Thêm vào đó, số lần nhúng và nồng độ Ag/GO-GL thích hợp tìm được lần lượt là 4 và 2 g/L. Kết quả phân tích giản đồ nhiễu xạ tia X và phổ hồng ngoại chuyển hóa Fourier cho thấy quá trình tiền xử lý và phủ nhúng không làm ảnh hưởng đến cấu trúc của PP. Ảnh SEM cho thấy Ag/GO-GL được phủ đồng đều trên các sợi PP. Vải Ag/GO-GL/PP có khả năng kháng khuẩn cao đối với cả hai loại vi khuẩn Gram âm và Gram dương. Hai phương pháp biến tính khử GO bằng vitamin C và phủ stearic acid đều có thể tạo ra bề mặt kỵ nước Ag/GO-GL/PP mà không làm thay đổi đáng kể đặc trưng và khả năng kháng khuẩn của Ag/GO-GL/PP, đồng thời giúp tăng độ bền của lớp phủ Ag/GO-GL.

Màng kháng khuẩn Ag/GO-CL/CTS: Được tổng hợp từ vật liệu Ag/GO-CL kết hợp với chitosan. Kết quả phân tích cho thấy độ dày màng và % khối lượng Ag/GO-CL ảnh hưởng đáng kể đến đặc trưng của màng của màng. Màng Ag/GO-CL/CTS-0.350-3 được chế tạo trong điều kiện phù hợp 0,350 mL/cm<sup>2</sup> và 3% khối lượng Ag/GO-CL. Màng này có khả năng kháng khuẩn đối với cả vi khuẩn Gram âm và Gram dương và có làm tăng thời gian bảo quản chuối. Quả chuối phủ màng Ag/GO-CL/CTS-0.350-3 cho thấy tốc độ chín chậm hơn, độ cứng cao hơn, hàm lượng đường và ethanol tổng thấp hơn, và không có dấu hiệu bị mốc sau 10 ngày bảo quản. Ngoài ra, hàm lượng bạc thấp được giải phóng vào bên trong vỏ chuối, theo tiêu chuẩn của WHO cho thấy mức độ an toàn của màng khi sử dụng bảo quản trái cây. Kết quả nghiên cứu cho thấy tiềm năng ứng dụng của Ag/GO-CL trong chế tạo màng bảo quản thực phẩm ở Việt Nam.

Kết quả luận án cho thấy hai chất khử GL và CL đều có hiệu quả cao trong tổng hợp vật liệu Ag/GO. Kích thước AgNPs thu được có kích thước đồng đều. Ag/GO tổng hợp bằng GL và CL đều có hiệu quả cao trong ứng dụng kháng khuẩn. Sự kết hợp giữa Ag/GO-GL và Ag/GO-CL tương ứng với PP và CTS tạo ra vải và màng kháng khuẩn có tiềm năng định hướng ứng dụng trong các lĩnh vực y tế và bảo quản thực phẩm.

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

### Tạp chí quốc tế

1. **Nguyen Minh Dat**, Doan Ba Thinh, Le Minh Huong, Ninh Thi Tinh, Nguyen Thi Thuy Linh, Nguyen Duy Hai, Nguyen Duc Viet, Nguyen Tien Dat, Mai Thanh Phong, Nguyen Huu Hieu, Facile synthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles-modified graphene oxide hybrid material: the assessment, utilization, and anti-virus potentiality, *Materials Today Chemistry*, 23, 2022, 100738.  
DOI: 10.1016/j.mtchem.2021.100738
2. **Nguyen Minh Dat**, Le Minh Huong, Ninh Thi Tinh, Nguyen Thi Thuy Linh, Nguyen Duy Hai, Nguyen Duc Viet, Doan Ba Thinh, Che Quang Cong, Nguyen Tien Dat, Mai Thanh Phong, Nguyen Huu Hieu, Surface modification of poly(propylene) fabric with graphene oxide-based silver nanoparticles for antibacterial applications, *Journal of Applied Polymer Science*, 139(45), 2022, e53119.  
DOI: 10.1002/app.53119
3. **Nguyen Minh Dat**, Nguyen Thanh Hoai Nam, C.Q. Cong, L.M. Huong, Nguyen Duy Hai, Le Tan Tai, Hoang An, Bui Thanh Duy, Nguyen Tien Dat, Vo Nguyen Dai Viet, Hoang Thai Duong, Mai Thanh Phong, Nguyen Huu Hieu, Chitosan membrane drafting silver-immobilized graphene oxide nanocomposite for banana preservation: Fabrication, physicochemical properties, bioactivities, and application, *International Journal of Biological Macromolecules*, 242, 2023, 124607.  
DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.124607
4. **Nguyen Minh Dat**, Nguyen Duy Hai, Nguyen Thanh Hoai Nam, Le Minh Huong, Nguyen Tien Dat, Nguyen Hung Vu, Phan Nguyen Phu Hung, Nguyen Cong Anh Minh, Nguyen Huu Hieu, Highly stable reinforced nanostructure of silver-decorated on graphene oxide phytosynthesized through central composite design for antibacterial activity: Green and eco-friendly method, *Diamond and Related Materials*, 147, 2024, 111322.  
DOI: 10.1016/j.diamond.2024.111322