



DOI: <https://doi.org/10.52714/dthu.14.04S.2025.1582>

TỔNG HỢP VÀ KHẢO SÁT HOẠT TÍNH KHÁNG VI SINH VẬT CỦA MÀNG NHỰA SINH HỌC TỪ CAO CHIẾT CÂY RAU RĂM (*PERSICARIA ODORATA* L.)

Phạm Khánh Nguyên Huân, Quách Thị Như Ý, Triệu Phú Hậu và Hà Thị Kim Quy*

Khoa Khoa học Tự nhiên, Đại học Cần Thơ, Việt Nam

**Tác giả liên hệ, Email: htkquy@ctu.edu.vn*

Lịch sử bài báo

Ngày nhận: 11/4/2025; Ngày nhận chỉnh sửa: 05/6/2025; Ngày duyệt đăng: 22/7/2025

Tóm tắt

Mục tiêu của nghiên cứu này là tổng hợp màng nhựa sinh học từ tinh bột khoai lang kết hợp với cao chiết EtOH từ Rau răm (*Persicaria odorata* Lour.) có khả năng kháng vi sinh vật và phân hủy sinh học. Phương pháp nghiên cứu bao gồm khảo sát điều kiện thích hợp cho quy trình tổng hợp màng nhựa sinh học kết hợp với glycerol làm chất hóa dẻo và bổ sung cao chiết Rau răm. Màng nhựa sinh học được đánh giá các thông số cảm quan, cơ - lý, hóa học, hoạt tính kháng khuẩn, kháng nấm mốc và khả năng phân hủy sinh học. Kết quả cho thấy màng nhựa sinh học chứa 15% glycerol và 20% cao chiết có đặc tính cảm quan tốt nhất với độ dày 0,24 mm, độ bền kéo đạt 8,42 N và khả năng hấp thu nước thấp hơn so với màng không chứa cao chiết. Phân tích SEM cho thấy bề mặt màng nhựa chứa cao chiết mịn và ít lỗ trống. Đặc biệt, màng nhựa sinh học bổ sung 20% cao chiết thể hiện khả năng kháng vi khuẩn *Escherichia coli* O157:H7 và *Staphylococcus aureus*, đồng thời ngăn chặn sự phát triển của nấm mốc. Bên cạnh đó, màng nhựa này còn có khả năng phân hủy khá tốt, giảm hơn 30% khối lượng sau 6 ngày và phân hủy hoàn toàn sau 18 ngày khi chôn trong đất. Nghiên cứu này đã chứng minh tiềm năng ứng dụng của màng nhựa sinh học từ tinh bột khoai lang kết hợp cao chiết Rau răm như một giải pháp để giảm thiểu tác động môi trường của rác thải nhựa đồng thời tăng cường an toàn thực phẩm.

Từ khóa: *Kháng vi sinh vật, Màng nhựa sinh học, Phân hủy sinh học, Rau răm.*

Trích dẫn: Phạm, K. N. H., Quách, T. N. Y., Triệu, P. H., & Hà, T. K. Q. (2025). Tổng hợp và khảo sát hoạt tính kháng vi sinh vật của màng nhựa sinh học từ cao chiết cây rau răm (*Persicaria odorata* L.) *Tạp chí Khoa học Đại học Đồng Tháp*, 14(04S), 229-242. <https://doi.org/10.52714/dthu.14.04S.2025.1582>

Copyright © 2025 The author(s). This work is licensed under a CC BY-NC 4.0 License.

**SYNTHESIS AND INVESTIGATION
OF ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF BIOPLASTIC FILMS
FROM *Persicaria odorata* L. EXTRACT**

Pham Khanh Nguyen Huan, Quach Thi Nhu Y, Trieu Phu Hau, and Ha Thi Kim Quy*

College of Natural Sciences, Can Tho University, Vietnam

**Corresponding author, Email: htkquy@ctu.edu.vn*

Article history

Received: 11/4/2025; Received in revised form: 05/6/2025; Accepted: 22/7/2025

Abstract

*This study aims to synthesize a bioplastic film from sweet potato starch in combination with EtOH extract of *Persicaria odorata* Lour., showing the antimicrobial properties and biodegradability. The methodology includes investigating optimal conditions for bioplastic film synthesis combined with glycerol as a plasticizer and *P. odorata* extract. The bioplastic films were evaluated for sensory analysis, mechanical-physical properties, chemical characteristics, antibacterial and anti-mold activities, and biodegradation capacity. Results revealed that bioplastic films containing 15% glycerol and 20% extract exhibited potential sensory characteristics with a thickness of 0.24 mm, tensile strength of 8.42 N, and lower water absorption than films without plant extract. SEM analysis showed that extract-containing films had smoother surfaces with fewer pores. Notably, bioplastic films supplemented with 20% plant extract demonstrated inhibitory activity against *Escherichia coli* O157:H7 and *Staphylococcus aureus*, preventing mold growth. Additionally, these films exhibited favorable biodegradation properties, with mass reduction exceeding 30% after 6 days and complete decomposition after 18 days when buried in the soil. This study has demonstrated the potential to applying bioplastic films derived from sweet potato starch combined with *P. odorata* extract as a solution to mitigate the environmental impact of plastic waste while enhancing food safety.*

Keywords: *Antimicrobial, Bioplastic film, Biodegradability, *Persicaria odorata*.*

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và phát triển công nghiệp hiện nay, vấn đề ô nhiễm môi trường do rác thải nhựa đã trở thành mối quan tâm hàng đầu trên toàn thế giới. Các loại nhựa dựa trên hóa dầu như polyethylene terephthalate (PET), polybutylene terephthalate (PBT), polypropylene (PP), polystyrene (PS), polyvinyl chloride (PVC) được sử dụng rộng rãi trong hầu hết các lĩnh vực công nghiệp và đời sống do chúng những ưu điểm như đặc tính linh hoạt, nhẹ, bền và chi phí sản xuất thấp (Geyer & cs., 2017). Tuy nhiên, theo thống kê gần đây cho thấy con người thải ra khoảng 380 triệu tấn nhựa mỗi năm, trong đó chỉ có khoảng 9% được tái chế, 12% bị đốt và 79% còn lại tích tụ trong các bãi chôn lấp hoặc trôi nổi trong môi trường tự nhiên (Ritchie & cs., 2023). Điều đáng quan ngại là thời gian phân hủy của nhựa trong tự nhiên có thể kéo dài từ vài trăm đến hàng trăm năm (Barnes & cs., 2009). Bên cạnh đó, một số nghiên cứu đã phát hiện ra một vấn đề đáng lo ngại khác từ rác thải nhựa là hạt vi nhựa có kích thước nhỏ hơn 5 mm, được tạo ra từ quá trình phân hủy của các sản phẩm nhựa hoặc được thêm vào các sản phẩm tiêu dùng như mỹ phẩm, kem đánh răng (Prata & cs., 2020). Các hạt vi nhựa này đã được tìm thấy trong nhiều loại thực phẩm, nước uống và thậm chí trong cơ thể con người gây ảnh hưởng lâu dài đến sức khỏe của con người (Khalil & cs., 2016).

Trước những thách thức trên, việc nghiên cứu và phát triển các loại vật liệu thay thế có khả năng phân hủy sinh học và thân thiện với môi trường đã trở thành ưu tiên hàng đầu trong nghiên cứu khoa học vật liệu. Polymer phân hủy sinh học đã được nghiên cứu và phát triển như một giải pháp hứa hẹn cho vấn đề rác thải nhựa (Khalil & cs., 2016). Theo Ibrahim và cộng sự (2021), sản lượng nhựa sinh học toàn cầu được dự báo tăng từ 2,05 triệu tấn năm 2017 lên khoảng 2,44 triệu tấn vào năm 2022, với tốc độ tăng trưởng mạnh mẽ đặc biệt ở các loại polymer phân hủy sinh học như PLA, PHA và hỗn hợp tinh bột (Ibrahim & cs., 2021). Các loại nhựa có khả năng phân hủy sinh học phổ biến hiện nay gồm tinh bột, polylactic acid (PLA), polybutylene adipate terephthalate (PBAT), polybutylene succinate (PBS)... Những năm gần đây, xu hướng nghiên cứu đã chuyển sang tổng hợp bao bì nhựa phân hủy sinh học có hoạt tính kháng khuẩn nhằm kéo dài thời gian bảo quản thực phẩm và tăng cường an toàn vệ sinh thực phẩm. Một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng màng nhựa sinh học được tổng hợp tinh bột sắn hoặc cellulose từ phụ phẩm nông nghiệp có tiềm năng ứng dụng như một vật liệu đóng gói thực phẩm thay thế trong tương lai nhằm giúp giảm thiểu ô nhiễm môi trường và tạo giá trị gia tăng cho sản phẩm nông nghiệp (Đức & cs., 2023; Jeyasubramanian & Balachander, 2016; Marichelvam & cs., 2019). Mặc dù vậy, các loại nhựa sinh học hiện tại vẫn còn hạn chế về độ bền cơ học và khả năng chống ẩm, đồng thời dễ bị nhiễm khuẩn, làm ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm và sức khỏe người dùng (Luong & Thuan, 2020). Do đó, để tăng cường khả năng kháng khuẩn của màng nhựa sinh học, một số nghiên cứu đã tổng hợp thành công màng nhựa sinh học kháng khuẩn bằng chiết xuất thảo dược (Çobanoğlu, 2023; Kharb & Saharan, 2024; Nasution & Wulandari, 2021).

Cây Rau răm (*Persicaria odorata* Lour.), một loại thảo mộc phổ biến tại Việt Nam và các nước Đông Nam Á, đã được chứng minh có nhiều thành phần hóa học chính là phenolic ($22,89 \pm 9,16$ g GAE/ 100 g cao chiết), flavonoid ($7,20 \pm 3,61$ g QE/ 100 g cao chiết) và có tác dụng kháng khuẩn và nấm, kháng oxi hóa, kháng viêm,... (Azmi & cs., 2021; Nanasombat & Teckchuen, 2009). Tuy nhiên, hiện nay có rất ít công trình khoa học công bố về lĩnh vực chế tạo màng nhựa sinh học có khả năng phân hủy sinh học, đồng thời kết hợp với cao chiết Rau răm để tăng cường hoạt tính kháng khuẩn cho sản phẩm. Do đó, nghiên cứu này bước đầu cung cấp các kết quả tổng hợp và khảo sát hoạt tính kháng vi sinh vật của màng nhựa sinh học từ cao chiết Rau răm không chỉ góp phần phát triển vật liệu thân thiện với môi trường mà còn tận dụng nguồn tài nguyên thảo dược sẵn có tại Việt Nam.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Điều chế và định tính thành phần hóa học của cao chiết Rau răm

Thân và lá cây Rau răm thu tại Cần Thơ và được định danh bởi TS. Phạm Hà Thanh Tùng (Trường đại học Phenikaa). Mẫu được cắt nhỏ, rửa sạch, phơi khô trong bóng râm và xay thành bột mịn. Mẫu khô sau đó được ngâm dầm với dung môi EtOH 96° ở nhiệt độ phòng trong 72 giờ. Tiếp tục thực hiện quá trình ngâm dầm, chiết kiệt thêm 2 lần nữa với dung môi EtOH 96° và cô quay để thu được cao chiết (Phạm & cs., 2024).

Một số phương pháp định tính các thành phần hóa học được áp dụng trong nghiên cứu này, bao gồm: sắc ký lớp mỏng (TLC), phản ứng với dung dịch gelatin muối dùng nhận biết có tannin, phản ứng với dung dịch FeCl₃ dùng nhận biết có phenolic, phản ứng với Mg/HCl đậm đặc dùng nhận biết có flavonoid và phản ứng Wagner dùng nhận biết có alkaloid.

2.2. Chiết xuất tinh bột Khoai lang

Khoai lang được rửa sạch, bỏ vỏ, cắt nhỏ, xay mịn rồi ngâm với nước cất ấm, lọc qua vải bỏ phần bã, để lắng dịch chứa tinh bột trong 6 giờ, gạn bỏ phần nước và thu được tinh bột ướt. Tinh bột sau đó được sấy khô 40°C trong 24 giờ và nghiền mịn bằng cối chày sứ, lưu trữ tinh bột trong cốc thủy tinh có nắp để sử dụng cho thí nghiệm tạo màng nhựa sinh học (Duy & cs., 2021).

2.3. Điều chế màng nhựa sinh học

5g tinh bột được phân bố trong 50 mL nước cất, thêm glycerol ở các nồng độ khác nhau (10%, 15%, 25%, 35%). Hỗn hợp trên khuấy bằng máy khuấy từ có gia nhiệt trong 20-30 phút ở nhiệt độ khoảng 70-80°C cho đến khi thu được hỗn hợp đồng nhất. Phối trộn trong điều kiện có hoặc không có chứa cao chiết ở các nồng độ khác nhau (5%, 10%, 20%, 30%). Sau đó hỗn hợp này sẽ được đổ vào khuôn và để khô ở nhiệt độ phòng trong 2 ngày và sấy ở nhiệt độ 40-50°C trong 10 phút. Lấy màng nhựa thu được ra khỏi khuôn, bảo quản trong hộp kín có túi hút ẩm dùng để phân tích các thông số cơ bản của vật liệu (Duy & cs., 2021).

2.4. Khảo sát các đặc tính cảm quan, cơ - lý, hóa học của màng sinh học

2.4.1. Đánh giá cảm quan, độ dày

Độ dày màng được đo bằng thiết bị micromet kỹ thuật số chính xác đến 0,01 mm (giới hạn phạm vi 0–12,7 mm). Độ dày của mỗi màng được đo ở năm vị trí, một vị trí ở trung tâm màng và ở bốn vị trí dọc theo chu vi của nó và tính toán giá trị trung bình.

2.4.2. Đo độ hấp thụ nước

Thông số này được đo theo tiêu chuẩn ASTM D570 – 98. Mẫu có kích thước 2 x 2 cm được cân và ghi nhận khối lượng ban đầu (M₀). Ngâm mẫu vào 50 mL nước cất và để ở điều kiện phòng. Ở các mốc thời gian 5, 10, 15, 25, 30 và 60 phút ghi nhận độ hấp thụ nước của mẫu bằng cách lấy mẫu ra khỏi cốc và thấm mẫu cho khô bằng giấy lọc rồi cân khối lượng. Tính phần trăm lượng nước được hấp thụ theo công thức:

$$\% \text{ Hấp thụ nước} = (\text{Khối lượng khô} - \text{Khối lượng ban đầu}) / \text{Khối lượng khô} \times 100$$

Phép đo được lặp lại ba lần và lấy giá trị trung bình làm kết quả cuối cùng (Duy & cs., 2021).

2.4.3. Đo độ bền kéo

Độ bền kéo của vật liệu được xác định theo tiêu chuẩn ASTM D882. Từ số liệu quan sát được, giá trị độ bền kéo thu được và được biểu thị bằng N. Độ giãn dài khi đứt là một chỉ số về tính linh hoạt của nhựa sinh học và được biểu thị bằng phần trăm (Lubis & cs., 2020).

2.4.4. Phân tích quang phổ hồng ngoại biến đổi FTIR

Màng nhựa sinh học được tiến hành đo quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourie FTIR (Jasco 4600) trong khoảng bước sóng 500–4000 cm^{-1} với độ phân giải 4 cm^{-1} , số lần quét là 16 lần (Skvorčinskienė & cs., 2023).

2.4.5. Phân tích kính hiển vi điện tử quét SEM

Kính hiển vi điện tử quét SEM (FESEM S 4800 HITACHI) được sử dụng để quan sát hình thái bề mặt của nhựa sinh học. Mẫu nhựa sinh học sẽ được phủ một lớp Pt trước khi được quan sát.

2.5. Thử nghiệm hoạt tính kháng khuẩn của màng nhựa

Thử nghiệm hoạt tính kháng khuẩn của màng nhựa sinh học được thực hiện dựa trên nguyên lý của tiêu chuẩn ASTM E2149 có sửa đổi. Cụ thể, 0,5 g mẫu màng nhựa sinh học không bổ sung và có bổ sung 20% cao chiết Rau răm được cắt nhỏ và cho vào ống nghiệm có nắp đã được hấp khử trùng. Sau đó, cho tiếp 5 mL môi trường tryptic soy broth (TSB) được chuẩn bị vào mỗi ống nghiệm. Tiến hành cho dịch chứa vi khuẩn (*Escherichia coli* serotype O157:H7 hoặc *Staphylococcus aureus*) vào mỗi ống nghiệm chứa sẵn 5 mL môi trường tryptic soy broth (TSB) để đạt được giá trị McFarland 0,5. Sau đó cho chính xác 0,5 g mẫu màng nhựa sinh học vào ống nghiệm. Thực hiện 4 nghiệm thức bao gồm: ống nghiệm (1) chỉ chứa dịch vi khuẩn, ống nghiệm (2) chứa nhựa dẻo (màng bọc nylon thông thường), ống nghiệm (3) chứa màng nhựa sinh học, ống nghiệm (4) chứa màng nhựa sinh học có cao chiết. Các ống nghiệm được lắc trên máy lắc tự động với tốc độ 200 vòng/phút ở nhiệt độ 37°C. Mật số vi khuẩn trong ống nghiệm sau 1 giờ được xác định bằng phương pháp đếm sống nhỏ giọt. Thí nghiệm được lặp lại 3 lần và số liệu được tính toán thống kê bằng phần mềm Minitab.

2.6. Khảo sát khả năng kháng nấm mốc của màng nhựa sinh học

Các mẫu màng nhựa không chứa và có chứa 20% cao chiết lần lượt được cắt thành mảnh 3x4 cm và đặt lên các mẫu bánh mì có kích thước 4x4 cm đã được chủng cùng một lượng nấm mốc lên bề mặt bằng phương pháp phun xịt. Đối chứng gồm các mẫu bánh mì chỉ phun nước cất và mẫu bánh mì được chủng nấm mốc.

2.6. Thử nghiệm phân hủy trong tự nhiên của màng nhựa sinh học

Mẫu màng nhựa được cắt thành miếng nhỏ với kích thước 2x2 cm và được cân để ghi nhận khối lượng ban đầu (khối lượng trước khi phân hủy); Sau đó các màng nhựa này tiến hành chôn lấp trong đất và tưới nước hằng ngày để duy trì độ ẩm. Sau khoảng thời gian 6, 9 và 18 ngày, lấy mẫu ra khỏi đất, làm sạch nhẹ nhàng bằng bàn chải mềm để loại bỏ đất bám, sau đó để khô tự nhiên trong 30 phút trước khi cân và ghi nhận khối lượng cuối cùng. Phần trăm phân hủy của mẫu nhựa sinh học được tính theo công thức:

% Phân hủy = $(\text{Khối lượng đầu} - \text{Khối lượng cuối}) / \text{Khối lượng đầu} \times 100$ (Wahyuningtiyas & Suryanto, 2017).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Điều chế và định tính thành phần hóa học của cao chiết Rau răm và chiết xuất tinh bột Khoai lang

600 g bột khô Rau răm được tiến hành ngâm dầm chiết kiệt sử dụng dung môi EtOH 96° thu được thu được khoảng 100 g cao chiết EtOH Rau răm. Hiệu suất điều chế cao chiết là 16,6%. Các nhóm hợp chất có trong cao chiết được định tính bằng phương pháp sắc ký lớp mỏng và một số loại thuốc thử. Như được trình bày trong Bảng 1, một số thành phần hóa học có trong cao chiết Rau răm như phenolic, flavonoid, alkaloid, tanin và terpenoid. So sánh với các kết quả đã được các công bố, Rau răm được thu tại Cần Thơ trong nghiên cứu này có sự hiện diện các nhóm hợp chất

tự nhiên tương tự như Rau răm được trồng ở các khu vực khác (Azmi & cs., 2021). Từ các kết quả nghiên cứu này chúng tôi nhận thấy Rau răm là nguồn thảo dược phổ biến và có nhiều thành phần hóa học nổi bật góp phần cho định hướng các nghiên cứu ứng dụng tiếp theo như bổ sung vào màng nhựa sinh học nhằm tăng cường hoạt tính sinh học mà màng nhựa sinh học còn hạn chế.

Bảng 1. Kết quả định tính một số nhóm hợp chất có trong cao chiết Rau răm

Nhóm chất	Phương pháp	Hiện tượng
Alkaloid	Thuốc thử Wagner	Kết tủa nâu đỏ
Flavonoid	$Pb(CH_3COO)_2$ 10%	Kết tủa vàng nhạt
Flavonoid và terpenoid	TLC (Vaniline/ H_2SO_4)	Vết màu vàng và tím
Phenolic	$FeCl_3$ 5%	Kết tủa xanh đen
Tanin	Gelatin-muối	Kết tủa bông

Nhằm hướng đến tính ứng dụng của thí nghiệm trong việc tận dụng nguồn tinh bột sẵn có từ nông sản rẻ tiền, chúng tôi lựa chọn phương pháp tinh chế tinh bột trực tiếp từ các mẫu khoai lang thu tại chợ nông sản. Trong nghiên cứu này chúng tôi tiến hành chiết xuất tinh bột từ 7,0 kg khoai lang trắng được thu mua tại chợ Tân An, Cần Thơ. Sau khi khoai lang được rửa sạch và nghiền thành dạng sệt, tiếp tục thêm nước và dùng vải lọc vắt lấy phần nước chứa tinh bột. Dịch lọc chứa tinh bột được để yên để thu lấy phần tinh bột lắng dạng sệt. Tinh bột được rửa 3 lần với nước và làm khô tại 40°C thu được 1,0 kg tinh bột khoai lang. Hiệu suất chiết xuất là 14,28%.

3.2. Khảo sát điều kiện tổng hợp màng nhựa sinh học

Các sản phẩm màng nhựa sinh học thu được từ sự phối trộn giữa tinh bột, glycerol và cao chiết ở các tỉ lệ phần trăm khác nhau được tiến hành đánh giá các đặc tính cảm quan, cơ - lý, hóa học. Kết quả được thể hiện ở Bảng 2 cho thấy nghiệm thức chứa glycerol từ 10-25% có độ dày nằm trong khoảng từ 0,18-0,24 mm, tuy nhiên khi tăng hàm lượng glycerol đến 35% thì độ dày của màng đã được tăng lên đáng kể (khoảng 0,3 mm). Điều này có thể giải thích là do glycerol đóng vai trò là một chất hóa dẻo giúp làm giảm độ cứng và tăng tính linh hoạt của màng nhựa sinh học. Chất hóa dẻo này giảm sự liên kết giữa các phân tử tinh bột, làm cho các phân tử này có thể di chuyển tự do hơn và tạo thành một màng dẻo dai hơn. Tuy nhiên, khi hàm lượng glycerol vượt đến 35%, các phân tử glycerol sẽ bắt đầu chiếm không gian giữa các phân tử tinh bột và làm giảm tính chặt chẽ của cấu trúc mạng phân tử. Bên cạnh đó, glycerol có tính hút ẩm nên khi tăng hàm lượng glycerol, màng sẽ giữ lại nhiều nước hơn trong quá trình làm khô, dẫn đến việc tạo ra một lớp màng dày hơn. Kết hợp với kết quả đánh giá cảm quan về màu sắc và kết cấu của màng, chúng tôi đề xuất màng nhựa sinh học có hàm lượng glycerol 15% đạt yêu cầu về độ mềm dẻo và không dính vào khuôn. Điều kiện tổng hợp màng nhựa sinh học có hàm lượng glycerol 15% bổ sung cao chiết từ 5-30% cho thấy rằng hàm lượng cao chiết 20% đạt chất lượng tốt về màu sắc, kết cấu và cảm quan (Bảng 2).

Bảng 2. Kết quả đo độ dày và đánh giá cảm quan của màng nhựa sinh học

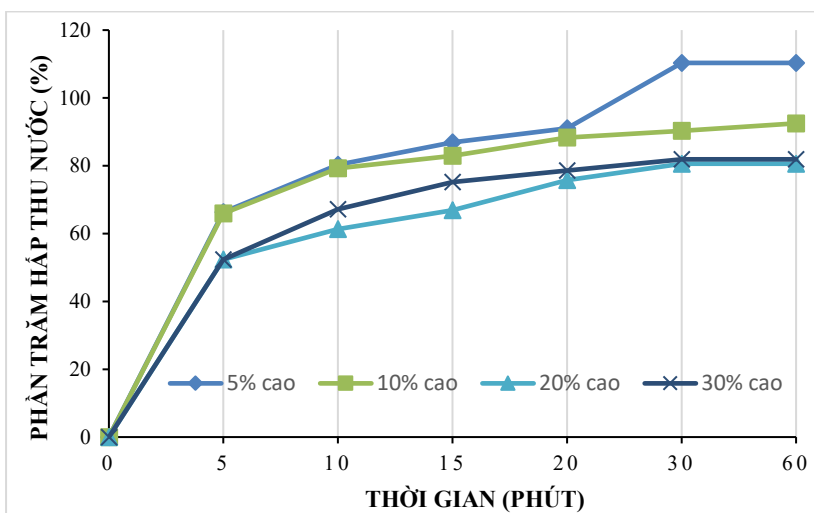
Nghiệm thức	Độ dày của màng nhựa (mm)	Màu sắc	Kết cấu	Cảm quan
(1) G10%	0,232±0,004 ^b	Trong suốt	Giòn	Không đạt
(2) G15%	0,188±0,010 ^c	Trong suốt	Dẻo, không dính	Đạt
(3) G25%	0,228±0,013 ^b	Trong suốt	Dẻo, hơi dính	Không đạt
(4) G35%	0,306±0,008 ^a	Trong suốt	Dẻo, dính	Không đạt
(5) G15% + C5%	0,192±0,178 ^c	Xanh lá	Dẻo, không dính	Không đạt

(6) G15% + C10%	0,234±0,114 ^b	Xanh lá	Đẻo, không dính	Không đạt
(7) G15% + C20%	0,240±0,012 ^b	Xanh lá đậm	Đẻo, khô ráo	Đạt
(8) G15% + C30%	0,242±0,130 ^b	Xanh đen	Ấm, mềm	Không đạt

Các giá trị có chữ cái khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0.05$)

**Ký hiệu G: glycerol; C: cao chiết EtOH Rau răm.*

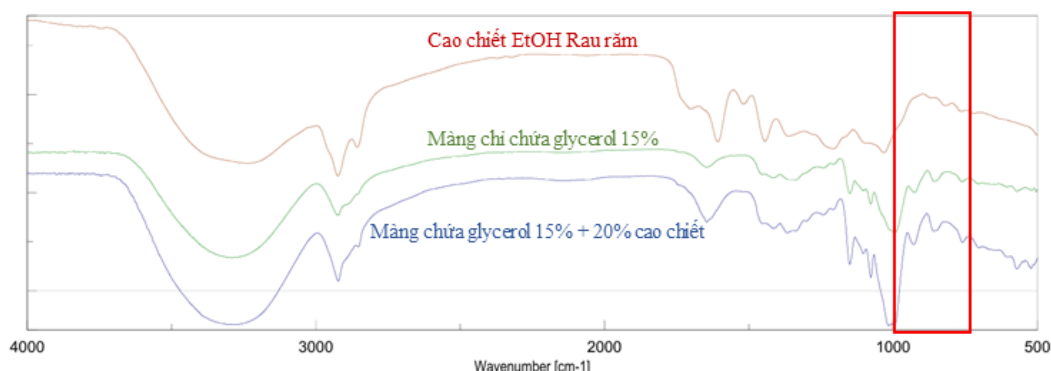
Bên cạnh đó, các màng nhựa sinh học của nghiệm thức 5-8 được khảo sát khả năng hấp thu nước. Kết quả Hình 1 cho thấy các loại màng đều cho khả năng hấp thu nước khá nhanh ở giai đoạn 30 phút đầu tiên. Kết quả cho thấy khi tăng nồng độ của cao chiết thì phần trăm hấp thu nước của màng giảm dần và điều này được dự đoán là do ảnh hưởng của việc bổ sung cao chiết Rau răm đã làm giảm sự hấp thụ nước của màng nhựa sinh học. Nguyên nhân có thể là do sự liên kết chặt chẽ giữa các hợp chất tannin và phenolic trong cao chiết Rau răm với các phân tử amylose và amylopectin trong tinh bột hồ hóa thông qua liên kết hydro và gây tương tác kỵ nước (Nasution & Wulandari, 2021). Từ các kết quả khảo sát độ dày, cảm quan màu sắc, kết cấu và độ hấp thu nước màng nhựa sinh học, màng nhựa có hàm lượng glycerol 15% bổ sung cao chiết 20% được chọn cho các nghiên cứu tiếp theo.



Hình 1. Phần trăm hấp thu nước của màng nhựa sinh học có hàm lượng glycerol 15% bổ sung cao chiết từ 5-30%

3.3. Đặc điểm cơ – lý và hóa học của màng sinh học

Kết quả phổ FTIR (Hình 2) cho thấy không có quá nhiều sự khác biệt giữa 3 mẫu phân tích do thành phần của cao chiết, màng nhựa không có và có cao chiết đều được cấu tạo nên từ nhiều nhóm OH (có thể là OH của alcohol hoặc của acid carboxylic). Nhưng, trong khoảng từ 1194-927 cm^{-1} , có thể thấy sự khác biệt giữa cao chiết Rau răm và 2 phổ còn lại của màng nhựa sinh học có và không có cao chiết. Cụ thể, cao EtOH không thể hiện dãy tín hiệu đặc trưng của dãy carbohydrate (nghĩa là không có tín hiệu C-O đặc trưng của nhóm C-O-C tại 927-994 cm^{-1} trong tinh bột), trong khi phổ FTIR của 2 loại màng nhựa lại thể hiện rất rõ dãy tín hiệu này, do thành phần chính của màng nhựa là tinh bột nhờ vậy đã xuất hiện sự khác biệt giữa cao chiết và màng nhựa.



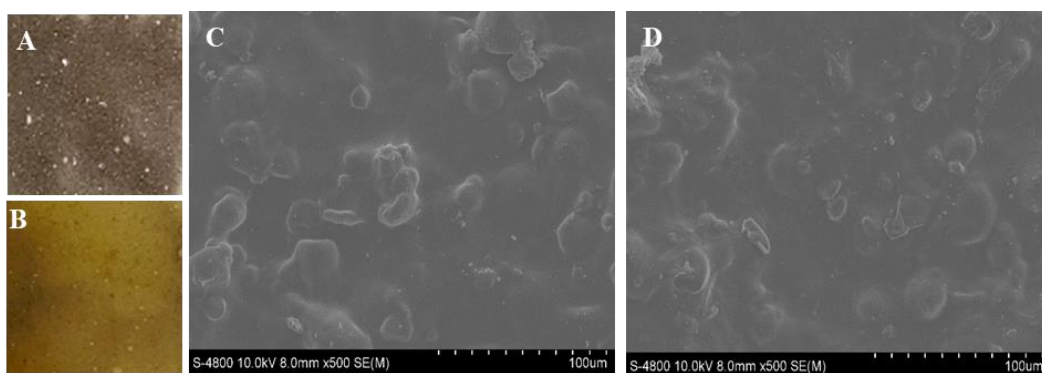
Hình 2. Phổ FTIR của cao chiết EtOH Rau răm (màu đỏ), màng nhựa sinh học chỉ chứa glycerol 15% (màu xanh lá) và có bổ sung cao chiết từ 20% (màu xanh dương)

Tiếp tục tiến hành đánh giá độ bền kéo màng nhựa sinh học có hàm lượng glycerol 15% bổ sung cao chiết 20% theo phương pháp ASTM D882-18. Kết quả Bảng 3 cho thấy độ bền kéo trung bình của màng được xác định là 8,42 N. So sánh với các kết quả của các nghiên cứu trước đây cho thấy sản phẩm màng nhựa sinh học từ tinh bột sắn kết hợp chất hóa dẻo glycerol là 1,14 N với độ giãn dài khi đứt là 0,22% (Anugrahwidya & cs., 2021), trong khi nghiên cứu khác cho thấy màng nhựa sinh học được tổng hợp từ nền tinh bột khoai tây kết hợp với 15% glycerol có độ bền kéo dao động từ 5 đến 11 N (Ng & cs., 2022). Như vậy, có thể thấy rằng màng nhựa chứa 15% glycerol và cao chiết có độ bền kéo khá tương đồng với một số nghiên cứu trước đó đã công bố theo tiêu chuẩn ASTM D882.

Bảng 3. Kết quả đo độ bền kéo của màng nhựa sinh học có hàm lượng glycerol 15% bổ sung cao chiết 20% theo phương pháp ASTM D882-18

Tên chỉ tiêu	Đơn vị tính	Giá trị lớn nhất	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị trung bình
Lực kéo đứt	N	11,6	4,06	8,42
Độ giãn dài khi đứt	%	2,51	1,01	1,67

Kết quả chụp ảnh SEM của màng nhựa sinh học chỉ chứa glycerol 15% và màng chứa glycerol 15% có bổ sung cao chiết 20% cho thấy đặc điểm bề mặt của màng nhựa bao gồm các hạt (phần còn lại của hạt tinh bột), có nghĩa là tinh bột không bị hồ hóa hoàn toàn trong quá trình hình thành (Hình 3). Kết quả này tương tự với báo cáo của Amin (2019) đề nghị rằng kết quả đo SEM của nghiên cứu này cũng được mô tả là có chứa phần dư không hòa tan từ sự trương nở của hạt tinh bột (Amin & cs., 2019). Khi so sánh màng nhựa có và không có cao chiết Rau răm, có thể thấy không có quá nhiều sự khác biệt về cấu trúc giữa 2 màng, tuy nhiên bề mặt của màng nhựa chứa cao chiết có phần mịn hơn, ít lỗ trống không khí hơn so với màng nhựa không chứa cao chiết.



Hình 3. Hình ảnh màng nhựa sinh học (A, B) và hình ảnh SEM (C, D)

Màng nhựa sinh học chỉ chứa glycerol 15% (A, C), màng nhựa sinh học chứa glycerol 15% có bổ sung cao chiết 20% (B, D)

3.4. Kết quả xác định mật số vi khuẩn của màng nhựa

Mật số vi khuẩn được xác định bằng phương pháp đếm sống nhỏ giọt. Kết quả Bảng 4 cho thấy sự thay đổi mật độ vi khuẩn *E. coli* và *S. aureus* ở các nghiệm thức sau khi được nuôi trong 1 giờ.

Đối với nghiệm thức đối chứng âm, chỉ chứa vi khuẩn *E. coli*, có thể thấy được mật số vi khuẩn tăng lên sau 1 giờ nuôi cấy (từ 6×10^7 đến $1,4 \times 10^8$ CFU/mL). Ở nghiệm thức màng nhựa chỉ chứa glycerol 15% và nhựa dẻo sau khi đã nuôi vi khuẩn trong 1 giờ: mật số vi khuẩn tăng cao ($1,5 \times 10^8$ và $1,7 \times 10^8$ CFU/mL), không khác biệt có ý nghĩa thống kê so với đối chứng âm. Đối với nghiệm thức màng nhựa chứa glycerol 15% có bổ sung 20% cao chiết sau khi đã nuôi vi khuẩn trong 1 giờ: mật số vi khuẩn thay đổi không đáng kể so với nghiệm thức đối chứng ban đầu (8×10^7 CFU/mL với 6×10^7 CFU/mL), và thấp rõ rệt khi so sánh với nghiệm thức đối chứng âm. Qua đó, có thể thấy khi bổ sung 20% cao chiết Rau răm vào màng nhựa sinh học, sự phát triển của vi khuẩn *E. coli* giảm ở mức rõ rệt, điều này là minh chứng cho khả năng ức chế vi khuẩn *E. coli* của màng nhựa sinh học chứa cao chiết Rau răm.

Xu hướng tương tự cũng được tìm thấy ở các nghiệm thức trên đối tượng *S. aureus*. Số lượng khuẩn lạc *S. aureus* ở 3 nghiệm thức đối chứng âm, nghiệm thức màng nhựa chỉ chứa glycerol 15% và nghiệm thức nhựa dẻo đều tăng cao so với mức ban đầu. Trong khi đó, số lượng khuẩn lạc ở nghiệm thức màng nhựa chứa glycerol 15% có bổ sung 20% cao chiết không thay đổi có ý nghĩa so với mức ban đầu và cũng là nghiệm thức có số khuẩn lạc ít nhất trong cả 4 nghiệm thức được nuôi cấy 1 giờ.

Từ các kết quả này có thể kết luận rằng, màng nhựa chứa glycerol 15% có bổ sung 20% cao chiết có khả năng ức chế tương đối tốt 2 loại vi khuẩn khảo sát (*E. coli* và *S. aureus*). Do đó, màng nhựa này được đề xuất là màng nhựa thích hợp để tiến hành nghiên cứu định tính khả năng kháng nấm mốc thực phẩm và phân hủy sinh học.

Bảng 4. Kết quả xác định mật số vi khuẩn của màng nhựa sinh học

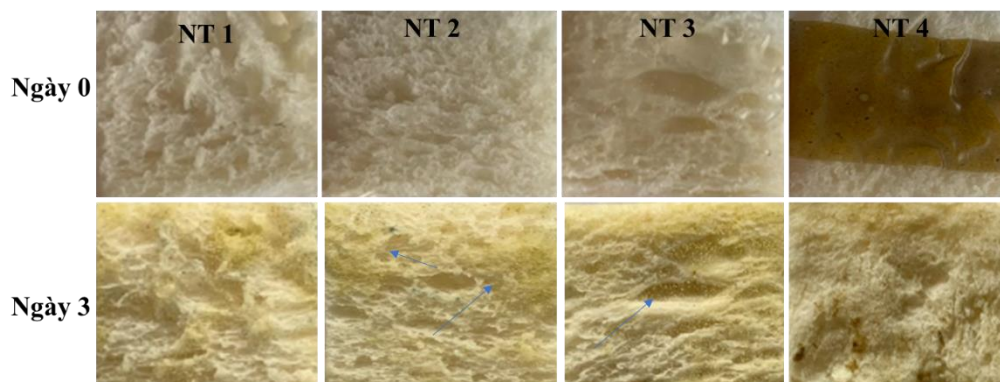
Thời gian (giờ)	Nghiệm thức	Số lượng khuẩn lạc (Mật số $\times 10^7$ CFU/mL)	
		<i>E. coli</i> O157:H7	<i>S. aureus</i>
0	Vi khuẩn ban đầu	$6 \pm 1,53^c$	$8 \pm 0,57^c$
1	Đối chứng âm	$14 \pm 2,52^{ab}$	$22 \pm 1,53^a$

Màng chỉ chứa glycerol 15%	$15 \pm 2,52^a$	$14 \pm 1,53^{bc}$
Màng chứa glycerol 15% + 20% cao chiết	$8 \pm 2,08^{bc}$	$9 \pm 3,05^{bc}$
Nhựa dẻo (plastic)	$17 \pm 3,51^a$	$16 \pm 4,93^{ab}$

Các giá trị có chữ cái khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0.05$)

3.4. Khả năng kháng nấm mốc của màng nhựa sinh học

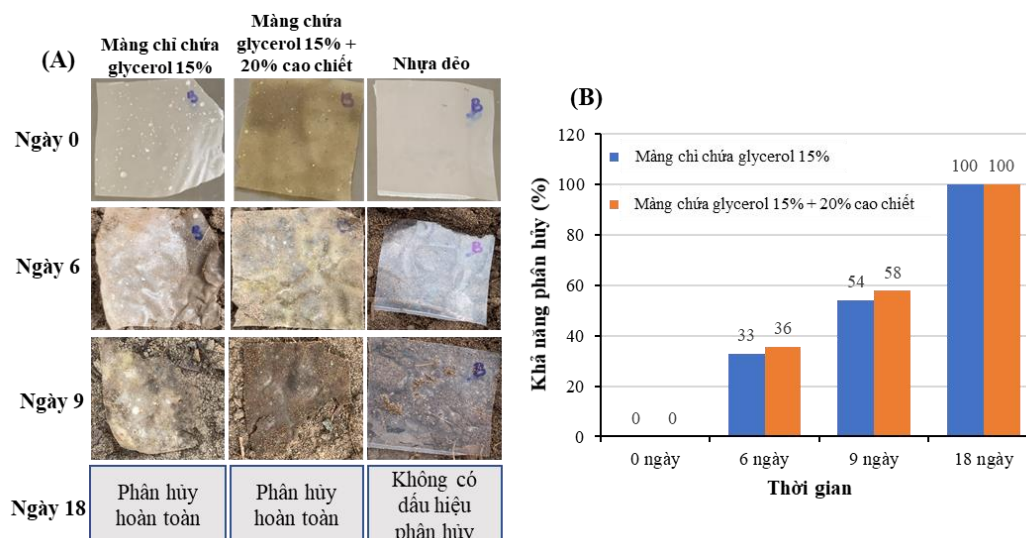
Khả năng kháng nấm mốc của màng nhựa sinh học được khảo sát qua 4 nghiệm thức, trong đó: *Nghiệm thức 1*: Bánh mì không được chủng nấm mốc; *Nghiệm thức 2*: Bánh mì được chủng nấm mốc; *Nghiệm thức 3*: Bánh mì được chủng nấm mốc + phủ màng nhựa sinh học chỉ chứa glycerol 15%; *Nghiệm thức 4*: Bánh mì được chủng nấm mốc + phủ màng nhựa chứa glycerol 15% có bổ sung 20% cao chiết. Kết quả thể hiện ở Hình 4 cho thấy sau thời gian 3 ngày, nghiệm thức 1 xuất hiện nấm mốc nhưng số lượng ít hơn so với nghiệm thức 2 và 3, điều này chứng tỏ rằng bánh mì sẽ phát triển nấm mốc trong thời gian 3 ngày bảo quản ở điều kiện nhiệt độ phòng. Nghiệm thức 2 và 3 cho thấy xuất hiện của nấm mốc khá nhiều trong khi nghiệm thức 4 vẫn chưa có dấu hiệu xuất hiện nấm mốc. Từ kết quả định tính này, chúng tôi đề xuất tiềm năng ứng dụng của màng nhựa chứa glycerol 15% có bổ sung 20% cao chiết có khả năng hạn chế được sự phát triển của nấm mốc trên bánh mì.



Hình 4. Khả năng kháng nấm mốc của màng nhựa sinh học

3.5. Khả năng phân hủy của màng nhựa sinh học

Khối lượng của màng nhựa sinh học khi được chôn trong đất đến ngày thứ 6 đã giảm hơn 30% (Hình 5). Điều này xảy ra có thể là vì nhựa sinh học được làm từ các nguyên liệu tự nhiên nên dễ dàng được phân hủy bởi vi sinh vật có trong đất. Dấu hiệu phân hủy mạnh mẽ hơn xảy ra vào ngày thứ 9 khi màng nhựa sinh học đã không giữ được hình dạng nguyên bản và trở nên phân hủy hoàn toàn ở ngày thứ 18. Các kết quả này cho thấy màng nhựa sinh học làm từ tinh bột có khả năng tự hủy trong điều kiện tự nhiên. Trong khi đó, nhựa dẻo không có dấu hiệu của sự phân hủy. Bên cạnh đó, sự hiện diện của glycerol cũng ảnh hưởng đến khả năng phân hủy do bản chất ưa nước của chất này khiến nhựa sinh học dễ bị phân hủy hơn (Wahyuningtiyas & Suryanto, 2017).



Hình 5. Khả năng phân hủy sinh học của màng nhựa sinh học (A); Biểu đồ thể hiện phần trăm phân hủy theo khối lượng của màng nhựa sinh học (B)

Từ các kết quả trên cho thấy màng nhựa sinh học chứa 15% glycerol và 20% cao chiết Rau răm có khả năng ức chế sự phát triển của cả vi khuẩn *E. coli* O157:H7, *S. aureus* và kháng nấm. Điều này có ý nghĩa đặc biệt quan trọng trong việc hướng đến ứng dụng màng nhựa sinh học trong bảo quản và an toàn thực phẩm.

E. coli O157:H7 là một chủng vi khuẩn gây bệnh nguy hiểm với khả năng sinh độc tố Shiga (STEC), thường được phát hiện trong thực phẩm nhiễm bẩn như thịt bò chưa nấu chín, rau sống, nước trái cây chưa tiệt trùng và các sản phẩm từ sữa chưa được thanh trùng. Chủng này có thể gây ra các triệu chứng nghiêm trọng bao gồm đau bụng dữ dội, tiêu chảy xuất huyết đường ruột (Enterohemorrhagic *E. coli* – EHEC) hay hội chứng tán huyết urê huyết (Hemolytic uremic syndrome - HUS), đặc biệt ở trẻ em và người cao tuổi (Croxen & cs., 2013). Theo dữ liệu của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), hàng năm có khoảng 2-3 triệu ca nhiễm *E. coli* O157:H7 trên toàn cầu, với tỷ lệ tử vong có thể lên đến 5% ở những người mắc HUS. Trong khi đó, *S. aureus* là tác nhân chính gây ngộ độc thực phẩm thông qua việc sản sinh enterotoxin, đặc biệt là trong các thực phẩm giàu protein như thịt, trứng, các sản phẩm từ sữa và thực phẩm đã qua chế biến. Độc tố của vi khuẩn này rất bền nhiệt và có thể tồn tại ngay cả sau khi thực phẩm đã được nấu chín, gây ra các triệu chứng như buồn nôn, nôn mửa, đau bụng và tiêu chảy trong vòng 30 phút đến 8 giờ sau khi tiêu thụ (Kadariya & cs., 2014). *S. aureus* cũng có khả năng kháng nhiều loại kháng sinh, đặc biệt là chủng kháng methicillin (MRSA), gây khó khăn trong điều trị và kiểm soát sự lây lan.

Khả năng ức chế sự phát triển của hai loại vi khuẩn gây bệnh nguy hiểm này của màng nhựa sinh học từ cao chiết Rau răm cho thấy tiềm năng ứng dụng trong việc phát triển bao bì thực phẩm an toàn. Trong bối cảnh số lượng vụ ngộ độc thực phẩm và nhiễm khuẩn thực phẩm ngày càng tăng, đặc biệt là ở các nước đang phát triển với hệ thống bảo quản lạnh còn hạn chế, việc phát triển bao bì có khả năng kháng khuẩn từ nguyên liệu tự nhiên mang lại nhiều lợi ích thiết thực.

Cơ chế kháng khuẩn của màng nhựa sinh học có thể được giải thích thông qua sự hiện diện của các hợp chất phenolic, flavonoid và tannin trong cao chiết Rau răm, những hợp chất này đã được chứng minh có khả năng phá vỡ màng tế bào vi khuẩn, ức chế hoạt động của enzyme và gây rối loạn chuyển hóa của vi khuẩn (Azmi & cs., 2021). Kết hợp với nghiên cứu

của Guerra-Rosas và cộng sự (2022), những hợp chất tự nhiên này có thể duy trì hoạt tính kháng khuẩn trong thời gian dài khi được tích hợp vào cấu trúc polymer của màng nhựa sinh học, tạo ra một hệ thống giải phóng chậm các hợp chất kháng khuẩn, giúp kéo dài thời hạn sử dụng của thực phẩm.

Đặc biệt, khả năng kháng nấm mốc của màng nhựa sinh học chứa cao chiết Rau răm, thể hiện qua thí nghiệm trên bánh mì, càng khẳng định tiềm năng ứng dụng của vật liệu này trong bảo quản các sản phẩm bánh mì và thực phẩm khác dễ bị nhiễm nấm mốc. Nấm mốc không chỉ làm giảm chất lượng cảm quan của thực phẩm mà còn có thể sản sinh các độc tố như mycotoxin, aflatoxin... gây hại cho sức khỏe người tiêu dùng. Khả năng kháng nấm mốc kết hợp với tính chất kháng khuẩn tạo nên một hệ thống bảo vệ kép cho thực phẩm được bao gói.

Bên cạnh đó, tính phân hủy sinh học hoàn toàn của màng nhựa trong vòng 18 ngày, cùng với khả năng kháng vi sinh vật, tạo ra một giải pháp bao bì thực phẩm không chỉ an toàn cho người tiêu dùng mà còn thân thiện với môi trường. Điều này đặc biệt quan trọng trong xu hướng tiêu dùng xanh hiện nay, khi người tiêu dùng ngày càng quan tâm đến các sản phẩm thân thiện với môi trường và có nguồn gốc tự nhiên.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã thành công trong việc phát triển màng nhựa sinh học đa chức năng từ tinh bột khoai lang kết hợp cao chiết Rau răm. Màng nhựa với 15% glycerol và 20% cao chiết thể hiện tính chất cơ-lý phù hợp với độ dày 0,24 mm, độ bền kéo 8,42 N, và khả năng hấp thu nước thấp hơn so với màng không chứa cao chiết. Đặc biệt, phân tích SEM và FTIR xác nhận sự tích hợp hiệu quả của các hợp chất sinh học từ Rau răm vào cấu trúc màng tinh bột. Điểm nổi bật của nghiên cứu là màng nhựa sinh học thể hiện hoạt tính kháng khuẩn đáng kể đối với cả *E. coli* O157:H7 và *S. aureus* - hai tác nhân gây bệnh thực phẩm nguy hiểm, đồng thời ngăn chặn hiệu quả sự phát triển của nấm mốc trên bánh mì. Khả năng phân hủy sinh học hoàn toàn trong 18 ngày trong môi trường tự nhiên càng khẳng định tiềm năng thay thế nhựa thông thường của vật liệu này. Kết quả nghiên cứu mở ra hướng phát triển bao bì thực phẩm thông minh kết hợp đồng thời hai ưu điểm: bảo vệ thực phẩm khỏi vi sinh vật gây hại và thân thiện với môi trường. Đây là giải pháp khả thi để giảm thiểu ô nhiễm nhựa đồng thời nâng cao an toàn thực phẩm, đặc biệt phù hợp với xu hướng tiêu dùng xanh và tận dụng hiệu quả nguồn nguyên liệu tự nhiên sẵn có tại Việt Nam..

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Cần Thơ, Mã số: CTCS2024-02-03.

Tài liệu tham khảo

- Amin, M. R., Chowdhury, M. A., & Kowser, M. A. (2019). Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch. *Heliyon*, 5(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02009>.
- Anugrahwidya, R., Armynah, B., & Tahir, D. (2021). Bioplastics starch-based with additional fiber and nanoparticle: characteristics and biodegradation performance: a review. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(11), 3459–3476. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02152-z>.
- Azmi, N., Zulkurnain, E. I., Ramli, S., James, R. J., & Halim, H. (2021). The phytochemical and pharmacological properties of *Persicaria odorata*: a review. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 33(41B), 262–279. <https://journaljpri.com/index.php/JPRI/article/view/3167>.
- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and

- fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>.
- Çobanoğlu, M. S. (2023). Antibacterial bioplastic production with herbal extract. *International Journal of Environmental Trends (IJENT)*, 7(1), 3–13. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2707516>.
- Đức, V. M., Liêm, N. T., Chi, Đ. T. K., & Giang, N. C. (2023). Nghiên cứu đánh giá khả năng phân hủy sinh học hoàn toàn của màng nhựa trên cơ sở tinh bột sắn và nhựa poly (butylene adipate-co-terephthalate) theo phương pháp định lượng CO₂ sinh ra. *Bản B Của Tạp Chí Khoa Học và Công Nghệ Việt Nam*, 65(8). https://b.vjst.vn/index.php/ban_b/article/view/2477.
- Duy, T. P., Minh, N. T., & Ngọc, H. G. (2021). Tổng hợp và khảo sát một số đặc tính của vật liệu dễ phân hủy sinh học từ tinh bột khoai tây. *Tạp Chí Khoa Học Tài Nguyên và Môi Trường*, 35, 38–46. <https://vjol.info.vn/index.php/hunre/article/view/55770>.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>.
- Ibrahim, N. I., Shahar, F. S., Sultan, M. T. H., Shah, A. U. M., Safri, S. N. A., & Mat Yazik, M. H. (2021). Overview of bioplastic introduction and its applications in product packaging. *Coatings*, 11(11), 1423. <https://doi.org/10.3390/coatings11111423>.
- Jeyasubramanian, K., & Balachander, R. (2016). Starch bioplastic film as an alternative food-packaging material. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 75(2), 78–84. <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-3a7ca898-70e3-4dc6-81da-fc1218cdc79a>.
- Khalil, H. P. S. A., Davoudpour, Y., Saurabh, C. K., Hossain, M. S., Adnan, A. S., Dungani, R., Paridah, M. T., Sarker, M. Z. I., Fazita, M. R. N., & Syakir, M. I. (2016). A review on nanocellulosic fibres as new material for sustainable packaging: Process and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 823–836. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.072>.
- Kharb, J., & Saharan, R. (2024). Development of biodegradable and eco-friendly fruit peel-derived bioplastic film with antibacterial potential for food packaging application. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05834-5>.
- Lubis, M., Harahap, M. B., Ginting, M. H. S., Sebayang, A. T., Chandra, T., & Wangi, Y. (2020). Mechanical, SEM and FTIR characteristics of bioplastics from mango seed starch with nanoparticle zinc oxide as filler and ethylene glycol as plasticizers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1003(1), 12122. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1003/1/012122>.
- Luong, N. H., & Thuan, H. M. (2020). Nhựa sinh học và khả năng triển khai tại Việt Nam. *Petrovietnam Journal*, 4, 32–39. <https://www.tapchidaukhi.vn/index.php/TCDK/article/view/303>.
- Marichelvam, M. K., Jawaid, M., & Asim, M. (2019). Corn and rice starch-based bio-plastics as alternative packaging materials. *Fibers*, 7(4), 32. <https://doi.org/10.3390/fib7040032>.
- Nanasombat, S. & Teckchuen, N. (2009). Antimicrobial, antioxidant and anticancer activities

- of Thai local vegetables. *J Med Plants Res*, 3(5), 443–449. <https://academicjournals.org/journal/JMPR/article-full-text-pdf/A854CB115293.pdf>.
- Nasution, H., & Wulandari, G. (2021). The Effect of Betel (piper betle) leaf extract as antimicrobial agent on characteristics of bioplastic based on sago starch. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1122(1), 12098. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1122/1/012098>.
- Ng, J. S., Kiew, P. L., Lam, M. K., Yeoh, W. M., & Ho, M. Y. (2022). Preliminary evaluation of the properties and biodegradability of glycerol-and sorbitol-plasticized potato-based bioplastics. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03213-5>.
- Phạm, K. N. H., Võ, T. K. M., & Hà, T. K. Q. (2024). Khảo sát điều kiện tổng hợp hệ vi hạt ZnO có bổ sung cao chiết lá bần chua (*Sonneratia caseolaris* L.) sử dụng mô hình bề mặt đáp ứng và đánh giá hoạt tính kháng oxi hóa của sản phẩm. *CTU Journal of Science*, 60, 374–382. <https://doi.org/10.22144/ctujos.2024.358>.
- Prata, J. C., Da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C. & Rocha-Santos, T. (2020). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Science of the Total Environment*, 702, 134455. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>.
- Ritchie, H., Samborska, V. & Roser, M. (2023). Plastic pollution. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>.
- Skvorčinskienė, R., Kiminaitė, I., Vorotinskienė, L., Jančauskas, A., & Paulauskas, R. (2023). Complex study of bioplastics: degradation in soil and characterization by FTIR-ATR and FTIR-TGA methods. *Energy*, 274, 127320. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127320>.
- Wahyuningtiyas, N. E., & Suryanto, H. (2017). Analysis of biodegradation of bioplastics made of cassava starch. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, 1(1), 24–31. <https://journal2.um.ac.id/index.php/jmest/article/view/1207>.