

Effects of chitosan-based nanoemulsion loaded with niaouli essential oils
in the management of postharvest pathogenic fungi and extending the shelf life
of Cavendish bananas (*Musa acuminata* Cavendish Subgroup)

Duy Q. Nguyen¹, & Duy A. Do^{2*}

¹Faculty of Applied Science and Technology (FAST), Nguyen Tat Thanh University,
Ho Chi Minh City, Vietnam

²NTT Hi-Tech Institute, Nguyen Tat Thanh University, Ho Chi Minh City, Vietnam

ARTICLE INFO

Research Paper

Received: January 20, 2025

Revised: March 13, 2025

Accepted: March 18, 2025

Keywords

Antifungal activity

Banana

Nano chitosan

Niaouli essential oil

Postharvest preservation

*Corresponding author

Anh Duy Do

Email:

doduybiotech@gmail.com

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the efficacy of chitosan-based nanoemulsion loaded with niaouli essential oils (MEO-CS-Nes) in extending the postharvest shelf life of Cavendish bananas. The physicochemical characterization revealed that the nanoemulsion had an average particle size of 99.72 nm and a zeta potential of 36.53 mV, indicating good stability. The antifungal activity of MEO-CS-Nes against common postharvest pathogens, including *Lasiodiplodia theobromae* and *Colletotrichum gloeosporioides*, was assessed *in vitro*, revealing minimum inhibitory concentration (MIC)/minimum fungicidal concentration (MFC) values of 62.5/125 and 62.5/250 ppm, respectively. *In vivo* investigations demonstrated that MEO-CS-Nes treatment effectively preserved bananas, maintaining peel color, flesh quality, and firmness for up to 9 days compared to untreated and chitosan-treated groups. The MEO-CS-Nes also inhibited fruit browning by suppressing polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD) activity. These findings highlight MEO-CS-Nes as an effective, eco-friendly solution for postharvest banana preservation, ensuring food safety and supporting sustainable agriculture.

Cited as: Nguyen, D. Q., & Do, D. A. (2026). Effects of chitosan-based nanoemulsion loaded with niaouli essential oils in the management of postharvest pathogenic fungi and extending the shelf life of Cavendish bananas (*Musa acuminata* Cavendish Subgroup). *The Journal of Agriculture and Development* 25(1), 81-94.

Hiệu quả của hệ nhũ tương nano từ chitosan và tinh dầu trầm trong kiểm soát vi nấm gây bệnh sau thu hoạch và kéo dài thời hạn sử dụng chuối già Nam Mỹ (*Musa acuminata* Cavendish Subgroup)

Nguyễn Quốc Duy¹ & Đỗ Anh Duy^{2*}

¹Khoa Khoa Học Ứng Dụng và Công nghệ, Trường Đại Học Nguyễn Tất Thành, TP. Hồ Chí Minh

²Viện Kỹ Thuật Công Nghệ Cao NTT, Trường Đại Học Nguyễn Tất Thành, TP. Hồ Chí Minh

THÔNG TIN BÀI BÁO

Bài báo khoa học

Ngày nhận: 20/01/2025

Ngày chỉnh sửa: 13/03/2025

Ngày chấp nhận: 18/03/2025

Từ khóa

Bảo quản sau thu hoạch

Chuối già Nam Mỹ

Hoạt tính kháng nấm

Nano chitosan

Tinh dầu trầm

***Tác giả liên hệ**

Đỗ Anh Duy

Email:

doduybiotech@gmail.com

TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm mục tiêu đánh giá hiệu quả của hệ nhũ tương nano từ chitosan và tinh dầu cây trầm gió (MEO-CS-Nes) trong việc kéo dài thời hạn sử dụng chuối già Nam Mỹ sau thu hoạch. Các tính chất lý hóa của hệ nhũ tương nano đã được mô tả với kích thước hạt và điện thế zeta lần lượt là 99,72 nm và 36,53 mV cho thấy độ ổn định tốt. Hoạt tính kháng nấm của MEO-CS-Nes đối với các tác nhân gây bệnh phổ biến sau thu hoạch bao gồm *Lasiodiplodia theobromae* và *Colletotrichum gloeosporioides*, đã được đánh giá *in vitro*, cho thấy giá trị nồng độ ức chế tối thiểu (MIC)/nồng độ diệt nấm tối thiểu (MFC) lần lượt là 62,5/125 và 62,5/250 ppm. Các thí nghiệm *in vivo* trên chuối đã chứng minh rằng xử lý MEO-CS-Nes có hiệu quả bảo quản chuối, duy trì màu sắc của vỏ, thịt quả và độ cứng lên đến 9 ngày so với nhóm không qua xử lý. Xử lý bằng chitosan. MEO-CS-Nes làm chậm quá trình hóa nâu của quả do hoạt động của polyphenol oxidase (PPO) và peroxidase (POD). Những kết quả này cho thấy MEO-CS-Nes có hiệu quả trong bảo quản và duy trì chất lượng chuối sau thu hoạch, là một giải pháp thân thiện với môi trường và đảm bảo vệ sinh an toàn thực phẩm, góp phần vào sự phát triển nông nghiệp xanh và bền vững.

1. Đặt Vấn Đề

Chuối già Nam Mỹ (*Musa acuminata* Cavendish Subgroup), là cây ăn quả nhiệt đới có giá trị kinh tế cao, đóng góp tới gần 15% tổng sản lượng các sản phẩm nông nghiệp toàn cầu (Padam & ctv., 2014). Tại Việt Nam, chuối là cây

ăn trái có diện tích và sản lượng lớn nhất, với hơn 154 ngàn ha, cho năng suất 2,3 triệu tấn vào năm 2021. Tuy nhiên, 33% sản lượng chuối sau thu hoạch bị hư hỏng trong quá trình bảo quản do nhiễm vi sinh vật (Kusumaningrum & ctv., 2015). Thối là một trong những yếu tố làm giảm năng suất ở chuối từ thời điểm thu hoạch

đến khi bảo quản và phân phối (Lassois & ctv., 2010). Tại Việt Nam, nhiều chủng vi nấm bao gồm *Colletotrichum musae*, *C. gloeosporioides*, *Lasiodiplodia theobromae* và *Fusarium musae* đã được xác định là các tác nhân gây thối quả chuối sau thu hoạch (Nguyen & ctv., 2024). Quá trình thu hoạch cũng tạo điều kiện cho bào tử nấm bám vào vết cắt, sau đó, gặp điều kiện thuận lợi, bào tử nảy mầm và xâm nhiễm vào quả (Lassois & ctv., 2010). Thuốc diệt nấm, mặc dù có hiệu quả trong việc kiểm soát mầm bệnh nấm nhưng có thể có một số tác động tiêu cực đến môi trường, sức khỏe con người và an toàn thực phẩm (Goswami & ctv., 2018). Sử dụng tinh dầu từ thực vật là một trong những biện pháp kiểm soát sinh học để quản lý bệnh sau thu hoạch. Tinh dầu tràm (*Melaleuca quinquenervia*) cũng được chứng minh hoạt tính kháng nấm mạnh đối với nấm mốc xanh *Penicillium digitatum* (Zulu & ctv., 2023).

Chitosan, một polymer sinh học tự nhiên có nguồn gốc từ chitin, đã thu hút được sự chú ý đáng kể vì tiềm năng của nó trong việc bảo quản trái cây sau thu hoạch. Chitosan tạo thành lớp màng bảo vệ trên bề mặt quả làm giảm sự mất nước, trao đổi khí và lây lan mầm bệnh, giúp duy trì độ cứng, màu sắc và chất lượng dinh dưỡng của trái cây (Riseh & ctv., 2023). Để tăng cường hiệu quả kiểm soát bệnh sau thu hoạch ở nông sản, tinh dầu thường được phối trộn cùng với chitosan tạo ra hệ nhũ tương dạng hạt nano, có kích thước từ vài chục đến vài trăm nanomet. Trong đó, chitosan tương tác tốt với các giọt tinh dầu, ngăn chặn quá trình oxy hóa và bay hơi, bảo vệ và duy trì hoạt lực sinh học của tinh dầu (De Carvalho-Guimarães & ctv., 2022). Đối mặt với các tổn thất nghiêm trọng do bệnh sau thu hoạch gây ra trên chuối

ở Việt Nam (Nguyen & ctv., 2024), việc sử dụng các biện pháp kiểm soát sinh học nhằm giảm thiểu tác động của chúng đến chất lượng chuối trong quá trình bảo quản và vận chuyển là cấp thiết. Nghiên cứu này nhằm đánh giá hiệu quả của hệ nhũ tương nano chitosan chứa tinh dầu tràm trong việc ức chế mầm bệnh, kéo dài thời gian và duy trì chất lượng chuối trong quá trình bảo quản.

2. Vật Liệu và Phương Pháp Nghiên Cứu

2.1. Chủng nấm gây bệnh sau thu hoạch trên chuối

Các chủng nấm gây bệnh chuối sau thu hoạch trên chuối bao gồm *L. theobromae* BF7 và *C. gloeosporioides* BF8 (Nguyen & ctv., 2024) được lưu trữ tại phòng thí nghiệm Vi sinh, Khoa Khoa học Ứng dụng và Công nghệ, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành.

Chuối được sử dụng trong thí nghiệm là giống chuối già Nam Mỹ, được thu mua ở chợ đầu mối Thủ Đức. Chuối được chọn lựa có độ chín kỹ thuật mức 2 theo thang phân loại của (Le & ctv., 2021), có vỏ quả láng mịn với màu sắc và kích thước đồng đều cũng như không bị hư hỏng, dập úng.

Tinh dầu tràm được cung cấp bởi cửa hàng tinh dầu Mộc Thủy (Gò Vấp, TP. Hồ Chí Minh).

Chitosan phân tử lượng thấp (độ ẩm: 11,12%, độ acetyl hóa: 90,22% và độ nhớt của dung dịch 1% ở 25°C: 72 cPs) được cung cấp bởi Công ty cổ phần Vietnam Food.

Dithiothreitol (DTT) và polyvinylpyrrolidone (PVP) được mua tại Sigma-Aldrich. Các hóa chất khác đều đạt chuẩn phân tích.

2.2. Tổng hợp hệ nhũ tương nano từ chitosan và tinh dầu trà

Để tổng hợp hệ nhũ tương nano từ chitosan và tinh dầu trà (MEO-CS-Nes), 1 g chitosan được hòa tan hoàn toàn trong 100 mL dung dịch acetic acid 1% trong điều kiện có khuấy trộn ở 60°C. Sau đó, 1 mL Tween 80 và 1 mL tinh dầu trà được thêm vào và hỗn hợp được đồng hóa ở tốc độ 15.000 vòng/phút trong 10 phút sử dụng thiết bị đồng hóa tốc độ cao Ultra Turrax T25 (IKEA, Đức). Cuối cùng, hỗn hợp được siêu âm với công suất 200 W ở nhiệt độ 60°C trong 10 phút để ổn định hệ nhũ tương.

2.3. Phân bố kích thước hạt, độ đục và thế zeta

Kích thước hạt (nm) của hệ nhũ tương được xác định bằng máy phân tích kích thước hạt tán xạ ánh sáng động Winner 802 (Jinan Winner Particle Instrument Stock Co., Ltd., Trung Quốc) và được trình bày theo d10, d50, d90 là các giá trị phần trăm trong đó kích thước dưới 10, 50 hoặc 90% của tất cả các hạt được tìm thấy. Ngoài ra, chỉ số đa phân tán (PDI) được tính theo công thức: $(d90 - d10)/d50$.

Độ đục của hệ nhũ tương được đo bằng máy đo độ đục cầm tay Mi 415 (Milwaukee Instruments, Romania) và được biểu diễn bằng đơn vị Formazin khuếch tán (Formazin Nephelometric Unit, FNU). Thế zeta được đo bằng thiết bị HORIBA Nano Particle Analyzer SZ-100 (HORIBA Instruments Inc., Kyoto, Nhật Bản) ở nhiệt độ 25°C sử dụng dung môi là nước.

2.4. Đánh giá hoạt tính của nhũ tương nano chitosan chứa tinh dầu trà trên các chủng nấm gây bệnh sau thu hoạch

Nồng độ ức chế tối thiểu (MIC) của MEO-CS-Nes đối với các chủng nấm gây bệnh sau thu hoạch trên chuối được xác định bằng phương pháp pha loãng nối tiếp hai lần (Juneidi & ctv., 2015). Chất MEO-CS-Nes được pha loãng trong môi trường YPD theo dãy nồng độ từ 0 đến 2000 ppm trên đĩa 96 giếng. Bào tử nấm bao gồm *L. theobromae* (BF7) và *C. gloeosporioides* (BF8) được cấy vào các mẫu pha loãng ở mật độ 5×10^6 bào tử/mL. Các đĩa được ủ ở 30°C trong 24 - 48 giờ và MIC được xác định là nồng độ nhũ tương chứa tinh dầu trà thấp nhất có khả năng ức chế sự phát triển của nấm mốc trong môi trường lỏng, thể hiện qua việc không quan sát thấy hiện tượng làm đục môi trường nuôi cấy. Sau khi xác định MIC, các giếng không có dấu hiệu đục do sự phát triển của nấm được chọn để xác định nồng độ diệt nấm tối thiểu (MFC). Từ mỗi giếng, 10 μ L dịch nuôi cấy được cấy chuyển lên đĩa thạch PDA không chứa MEO-CS-NEs và được ủ ở 30°C trong 48 - 72 giờ. Nồng độ diệt nấm tối thiểu được xác định là nồng độ thấp nhất của MEO-CS-NEs không cho phép sự phát triển của bất kỳ khuẩn lạc vi nấm nào trên môi trường thạch.

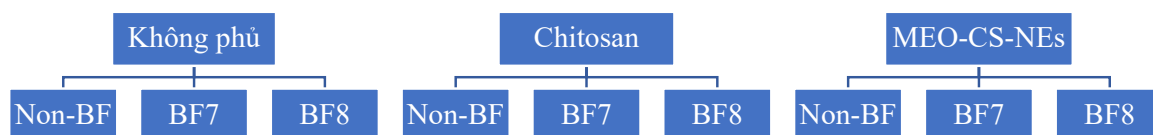
2.5. Ảnh hưởng của MEO-CS-Nes đến chất lượng chuối trong quá trình bảo quản

Quy trình bảo quản chuối

Quy trình thí nghiệm được bố trí theo Hình 1. Chuối được khử trùng bề mặt bằng NaClO 0,5% trong 2 - 3 phút, sau đó rửa sạch hai lần bằng nước cất vô trùng và được chuyển vào hộp đựng giấy ẩm vô trùng. Các quả chuối được lây nhiễm nhân tạo với chủng nấm *L. theobromae* (BF7) và *C. gloeosporioides* (BF8) theo Hình 1, trong đó, Non-BF: nhóm không lây nhiễm,

BF7: lây nhiễm nhân tạo với chủng nấm *L. theobromae* (BF7), BF8: lây nhiễm nhân tạo với chủng nấm *C. gloeosporioides* (BF8). Quy trình lây nhiễm nhân tạo được thực hiện bằng cách tạo 10 vết thương sâu 1,5 mm bằng kim vô trùng trên thân mỗi quả chuối. Sau đó, bào tử các chủng nấm bao gồm *L. theobromae* (BF7) và *C. gloeosporioides* (BF8) được pha loãng trong PBS ở mật độ 1×10^6 bào tử/mL. Sau

đó, mỗi vết thương được tiêm vào 10 μL dịch bào tử (Nguyen & ctv., 2024). Sau đó, các quả chuối được nhúng vào chitosan hoặc MEO-CS-Nes trong 1 phút và làm khô ngoài không khí. Nhóm đối chứng bao gồm những quả chuối không được phủ chất bảo quản. Cuối cùng, các quả chuối được xếp vào hộp có đục lỗ thoáng khí, và bảo quản ở 25°C.



Hình 1. Sơ đồ quy trình bảo quản chuối.

Chỉ tiêu theo dõi

Độ cứng: Độ cứng được đo bằng máy phân tích kết cấu CT3 (AMETEK Brookfield Inc., Middleboro, Hoa Kỳ) với đầu dò hình nón (TA15/1.000) với các thông số cài đặt cố định như sau: khoảng cách giữa đầu dò và mẫu là 30 mm, tải kích hoạt là 10 g, tốc độ đầu dò là 1 mm/giây và tốc độ trả về là 1 mm/giây. Độ cứng (g) được biểu diễn bằng lực tối đa cần thiết để xuyên qua trái cây và được ghi nhận bằng phần mềm Texture Proc CT V1.3 Build 15.

Acid tổng: 10 g thịt quả chuối được xay nhuyễn với 50 mL nước cất và lọc qua giấy lọc Whatman No.1. Độ acid chuẩn độ được xác định bằng cách chuẩn độ dịch lọc với dung dịch NaOH chuẩn (0,1 N) sử dụng phenolphthalein làm chỉ thị. Độ acid chuẩn độ được tính theo số mg acid citric trong 100 g thịt quả tươi (Nguyen & ctv., 2024).

Hoạt tính enzyme: Hoạt tính enzyme polyphenol oxidase (PPO) và peroxidase

(POD) của chuối theo thời gian bảo quản được phân tích dựa trên phản ứng màu lần lượt với thuốc thử catechol và guaiacol (Rastegar & ctv., 2020). Để thu nhận dịch phân tích, chuối được nghiền với dung dịch đệm phosphate (0,1 M ở pH 7,0) chứa PVP 4% và DTT 0,005 M ở tỉ lệ 1:2 (g/mL). Sau đó hỗn hợp được ly tâm lạnh trong vòng 10 phút với tốc độ 10.000 vòng/phút, loại bỏ cặn và thu lại phần dịch. Hoạt tính enzyme PPO được xác định bằng cách cho 0,6 mL mẫu tác dụng với 1,8 mL dung dịch đệm và 0,6 mL thuốc thử catechol 0,1 M. Chờ mẫu phản ứng trong 10 phút và đo ở bước sóng 410 nm. Hoạt tính enzyme POD được thực hiện bằng cách cho 0,6 mL mẫu tác dụng với 2,4 mL thuốc thử (H_2O_2 100 mL và guaiacol 20 mM). Chờ mẫu phản ứng trong 10 phút và đo ở bước sóng 470 nm. Một đơn vị hoạt tính enzyme PPO trong mẫu (U/mL trong 1 phút) được định nghĩa là thể tích dịch enzyme làm tăng độ hấp thụ của hỗn hợp phản ứng lên 0,001 đơn vị trong một phút.

2.6. Phân tích thống kê

Số liệu được phân tích bằng phần mềm SAS 9.4 (SAS, Inc., Hoa Kỳ) và sử dụng kiểm định Tukey để xác định ý nghĩa thống kê giữa các nhóm. Kết quả được thể hiện dưới dạng giá trị trung bình ± sai số chuẩn của ba lần lặp, với mức ý nghĩa $P < 0,05$.

3. Kết Quả và Thảo Luận

3.1. Tính chất vật lý của hệ nhũ tương

Điện thế zeta và độ đục của nhũ tương nano tinh dầu là các thông số quan trọng ảnh hưởng đến độ ổn định và hiệu quả của chúng. Giá trị tuyệt đối của điện thế zeta càng cao cho thấy độ ổn định tốt hơn do lực đẩy tĩnh điện giữa các hạt tăng lên, giúp ngăn ngừa sự kết tụ (Bashlouei & ctv., 2022). Thông thường, giá trị tuyệt đối của thế zeta cao hơn 30 mV được coi

là đủ để hệ thống nhũ tương duy trì được tính ổn định của nó (BenJemaa & ctv., 2022). Do đó, thế zeta của hệ nhũ tương nano chứa tinh dầu trầm trong nghiên cứu này được ghi nhận ở giá trị 36,53 mV (Bảng 1) cho thấy các hạt nano có điện tích dương và hệ nhũ tương thể hiện độ bền đáng kể. Mặt khác, độ đục thường liên quan đến kích thước hạt và sự phân bố trong hệ nhũ tương nano. Kích thước hạt nhỏ hơn ($d_{10} = 99,72$ nm) và phân bố kích thước hẹp ($PDI = 0,4576$) được ghi nhận trong nghiên cứu này dẫn đến độ đục thấp hơn (6,76 FNU) (Bảng 1). Điều này cho thấy nhũ tương đồng nhất và ổn định hơn. Nhiều báo cáo tương tự cũng kết luận rằng hệ nhũ tương nano có kích thước hạt dưới 200 nm và chỉ số đa phân tán thấp, chẳng hạn như những chỉ số được báo cáo đối với tinh dầu *Artemisia argyi*, cho thấy độ ổn định được tăng cường đi kèm với giá trị độ đục giảm (Chen & ctv., 2024).

Bảng 1. Tính chất vật lý của hệ nhũ tương nano từ chitosan và tinh dầu trầm (MEO-CS-Nes)

Chỉ tiêu	
Thế zeta (mV)	36,53 ± 0,75
Độ đục (FNU)	6,76 ± 0,13
Phân bố kích thước hạt	
d10	99,72 ± 7,33
d50	218,98 ± 19,80
d90	481,73 ± 20,65
PDI	0,46 ± 0,12

Ghi chú: d10, d50, d90: các giá trị phần trăm trong đó kích thước dưới 10, 50 hoặc 90% của tất cả các hạt được tìm thấy; PDI: chỉ số đa phân tán.

3.2. Hiệu lực của nhũ tương nano chitosan chứa tinh dầu trầm lên sự sinh trưởng và phát triển của các chủng nấm gây bệnh sau thu hoạch

Hiệu quả của MEO-CS-Nes trong việc ức chế sự phát triển của các chủng nấm gây bệnh sau thu hoạch trên chuối đã được đánh giá *in vitro*. Như trình bày trong Bảng 2, các giá trị MIC/MFC của MEO-CS-Nes đối với *L. theobromae* và *C. gloeosporioides* lần lượt là 62,5/125 ppm và 62,5/250 ppm. Các thành phần chính của tinh

dầu trầm, 1,8-cineole và p-cymen-8-ol, được biết đến với đặc tính kháng nấm, được cho là do khả năng tương tác và phá vỡ màng tế bào (Siddique & ctv., 2018). Hơn nữa, việc bao bọc tinh dầu trong các hạt nano chitosan làm tăng độ ổn định của tinh dầu, giảm sự bay hơi và giảm thiểu sự mất hoạt tính do quá trình oxy hóa. Các nghiên cứu trước đây đã chứng minh rằng tác dụng ức chế của nano chitosan chứa tinh dầu nghệ ức chế hiệu quả các loài vi sinh vật gây bệnh như *Escherichia coli* và *Listeria monocytogenes* (El-Zehery & ctv., 2022).

Bảng 2. Nồng độ ức chế tối thiểu (MIC) và nồng độ diệt nấm tối thiểu (MFC) của MEO-CS-Nes

	<i>L. theobromae</i>	<i>C. gloeosporioides</i>
MIC (ppm)	62.5	62.5
MFC (ppm)	125	250

3.3. Hiệu quả bảo quản chuối sau thu hoạch của MEO-CS-Nes

Ảnh hưởng của MEO-CS-Nes đến mức độ suy giảm độ cứng của chuối trong quá trình bảo quản

Như thể hiện trong Bảng 3, độ cứng của chuối giảm dần theo thời gian bảo quản; tuy nhiên, xử lý với MEO-CS-Nes có thể duy trì độ cứng của quả tốt hơn so với không xử lý sau 9 ngày bảo quản. Ngoài ra, ở nhóm nhiễm nấm bệnh, độ cứng của quả giảm đáng kể chỉ sau 3 ngày, trong khi nhóm MEO-CS-Nes cho hiệu quả ngăn chặn tình trạng suy giảm cấu trúc do nấm gây ra trong 9 ngày bảo quản (Bảng 3).

Lớp phủ chitosan có thể đóng vai trò như rào cản vật lý, hạn chế quá trình hô hấp và trao đổi khí, qua đó có thể kéo dài thời gian sử dụng của thực phẩm (Barik & ctv., 2024). Hơn nữa, việc kết hợp với các loại tinh dầu được chứng minh làm tăng hoạt tính khử gốc tự do, chống lại quá trình oxy hóa và kéo dài thời hạn sử dụng của trái cây (Felicia & ctv., 2024). Kết quả của chúng tôi cho thấy khả năng ức chế nấm bệnh của tinh dầu trầm (Bảng 2) cũng góp phần nâng cao hiệu quả bảo quản chuối, tương tự nghiên cứu trước đó cho thấy nhũ tương nano chitosan chứa tinh dầu *Carum carvi* giúp cải thiện các thông số chất lượng của chuối và giảm mật độ vi sinh vật sau 7 ngày bảo quản (Das & ctv., 2023).

Bảng 3. Ảnh hưởng của nhũ tương nano chitosan chứa tinh dầu trà đến độ cứng (g) và phát triển nấm bệnh trên chuối sau thu hoạch sau 9 ngày bảo quản

		Độ cứng (g)		
		Ngày 0 2331,33 ± 221,35		
		Ngày 3	Ngày 6	Ngày 9
Không phủ	Non-BF	1.732,83 ± 130,22 ^a	1.122,67 ± 298,48 ^{bc}	631,33 ± 178,15 ^{b-d}
	BF7	779,50 ± 90,28 ^b	504,17 ± 121,73 ^d	234,83 ± 94,47 ^f
	BF8	791,90 ± 128,33 ^b	441,33 ± 128,09 ^d	281,83 ± 57,54 ^{ef}
Chitosan	Non-BF	1.810,83 ± 257,89 ^a	1.363,11 ± 312,57 ^{abc}	779,50 ± 125,48 ^{a-d}
	BF7	1.443,67 ± 490,79 ^a	1107,43 ± 202,73 ^c	568,67 ± 102,84 ^{cde}
	BF8	1.562,67 ± 363,53 ^a	906,17 ± 116,02 ^{cd}	529,83 ± 119,84 ^{def}
MEO-CS-NEs	Non-BF	1.875,17 ± 377,8 ^a	1.745,17 ± 397,76 ^a	969,33 ± 138,93 ^a
	BF7	1.832,17 ± 281,94 ^a	1.416,17 ± 525,86 ^{abc}	865,51 ± 246,71 ^{abc}
	BF8	1.637,50 ± 196,63 ^a	1.659,53 ± 228,22 ^{ab}	901,83 ± 209,99 ^{ab}

Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa về mặt thống kê về độ cứng của chuối giữa các nhóm xử lý khác nhau ở mức $P < 0,05$; Non-BF: không nhiễm nấm; BF7: *L. theobromae*; BF8: *C. gloeosporioides*; MEO-CS-NEs: nhũ tương nano từ chitosan và tinh dầu trà.

Ảnh hưởng của MEO-CS-Nes đến sự thay đổi độ acid của chuối trong quá trình bảo quản

Sự giảm độ acid trong quá trình chín chuối chủ yếu là do những thay đổi về mặt chuyển hóa, bao gồm việc giảm các acid hữu cơ, đồng thời, tinh bột được chuyển thành đường, làm tăng vị ngọt của quả (Kim & Youn, 2013). Kết quả trong Bảng 4 cho thấy nhiễm nấm làm giảm

hàm lượng acid, cho thấy tốc độ chín nhanh hơn. Điều này phù hợp với các nghiên cứu trước đây cho thấy các tác nhân gây bệnh nấm như *Colletotrichum* và *Lasiodiplodia* spp. làm tăng sản xuất ethylene và hô hấp, thúc đẩy quá trình chín nhanh hơn. Tuy nhiên, MEO-CS-Nes ức chế sự phát triển của cả hai chủng nấm, ngăn chặn sự giảm hàm lượng acid và làm chậm đáng kể quá trình chín (Nguyen & ctv., 2024).

Bảng 4. Ảnh hưởng của nhũ tương nano chitosan chứa tinh dầu trầm đến sự thay đổi độ acid (quy đổi tương đương mg acid acetic) trên chuối sau thu hoạch sau 9 ngày bảo quản

		Độ acid (mg acid acetic/100 g)		
		Ngày 0		
		2,61 ± 0,18		
		Ngày 3	Ngày 6	Ngày 9
Không phủ	Non-BF	2,56 ± 0,32 ^{ab}	2,13 ± 0,18 ^{bc}	2,13 ± 0,21 ^{ab}
	BF7	1,81 ± 0,20 ^{bc}	1,49 ± 0,18 ^d	1,49 ± 0,19 ^{cd}
	BF8	1,49 ± 0,48 ^c	1,39 ± 0,15 ^d	1,28 ± 0,32 ^d
Chitosan	Non-BF	2,88 ± 0,32 ^a	2,82 ± 0,32 ^a	2,03 ± 0,15 ^{ab}
	BF7	2,88 ± 0,32 ^a	2,45 ± 0,19 ^{ab}	1,17 ± 0,21 ^d
	BF8	2,45 ± 0,18 ^{ab}	1,81 ± 0,19 ^{bc}	1,39 ± 0,11 ^{cd}
MEO-CS-NEs	Non-BF	2,99 ± 0,19 ^a	2,88 ± 0,32 ^a	2,45 ± 0,18 ^a
	BF7	2,99 ± 0,18 ^a	2,24 ± 0,32 ^{ab}	1,92 ± 0,32 ^{abc}
	BF8	2,35 ± 0,21 ^{ab}	1,92 ± 0,32 ^{bc}	2,03 ± 0,18 ^{ab}

Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa về mặt thống kê về độ acid của chuối giữa các nhóm xử lý khác nhau ở mức $P < 0,05$; Non-BF: không nhiễm nấm; BF7: *L. theobromae*; BF8: *C. gloeosporioides*; MEO-CS-NEs: nhũ tương nano từ chitosan và tinh dầu trầm.

Ảnh hưởng của MEO-CS-Nes đến hoạt động của các enzyme hóa nâu trong chuối trong quá trình bảo quản

Nhiễm nấm bệnh có thể gây ra stress oxy hóa gây gia tăng đáng kể đến hoạt động của POD và PPO trong tế bào thực vật, gây ra quá trình oxy hóa phenolic và hóa nâu ở quả (Shalaby & Horwitz, 2015). Kết quả ở Bảng 5 và 6 cho thấy, nhiễm nấm khiến hoạt động của POD và PPO tăng mạnh sau 3 ngày, khiến quả chuyển sang màu nâu (Hình 2A). Xử lý bằng MEO-CS-Nes đã ngăn chặn sự phát triển của *C. gloeosporioides* và *L. theobromae*, qua đó làm

giảm sự kích hoạt PPO và POD (Bảng 5 và 6), ngăn chặn quá trình hóa nâu như được quan sát thấy ở Hình 2A, chuối vẫn giữ được màu vỏ sáng mà không xuất hiện các đốm nâu sau 9 ngày bảo quản. Ngược lại, nhóm bị nhiễm nấm biểu hiện sự suy giảm đáng kể, biểu hiện các dấu hiệu thối mềm phần thịt quả sau 3 ngày, tiến triển thành thối hoàn toàn vào ngày thứ 6, đặc trưng bởi vỏ chuyển sang màu đen và thịt mềm, không sử dụng được vào ngày thứ 9 (Hình 2B). Như vậy, MEO-CS-Nes có khả năng ngăn chặn nấm mốc gây bệnh, và kéo dài thời hạn bảo quản chuối sau thu hoạch.

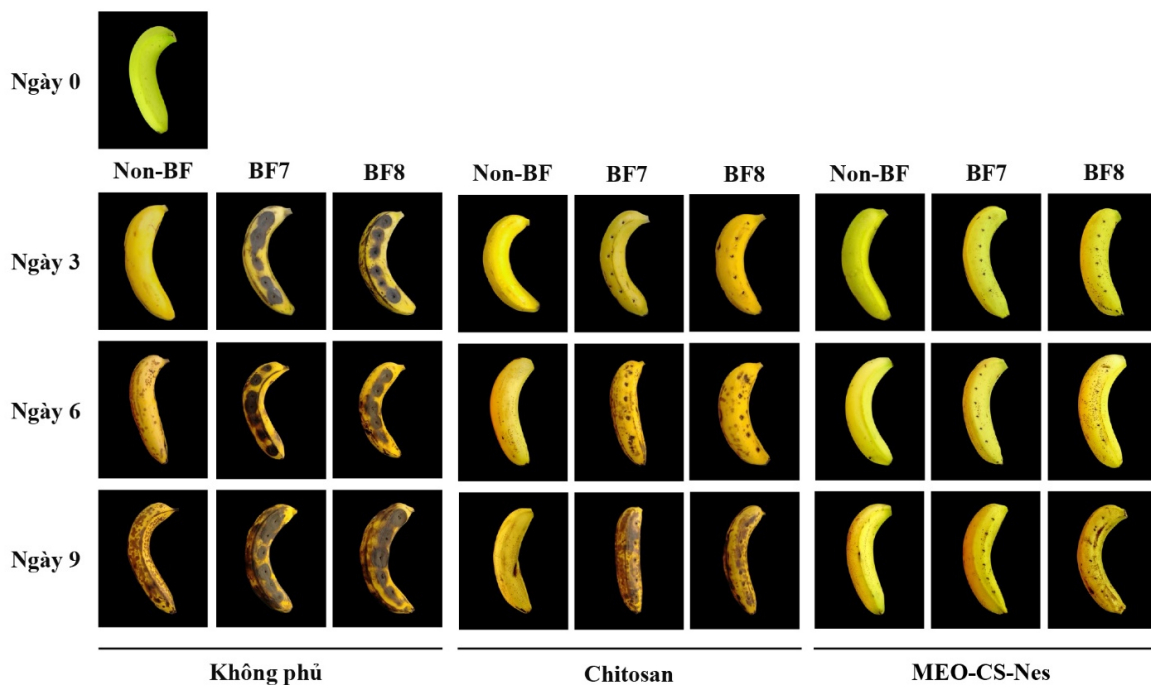
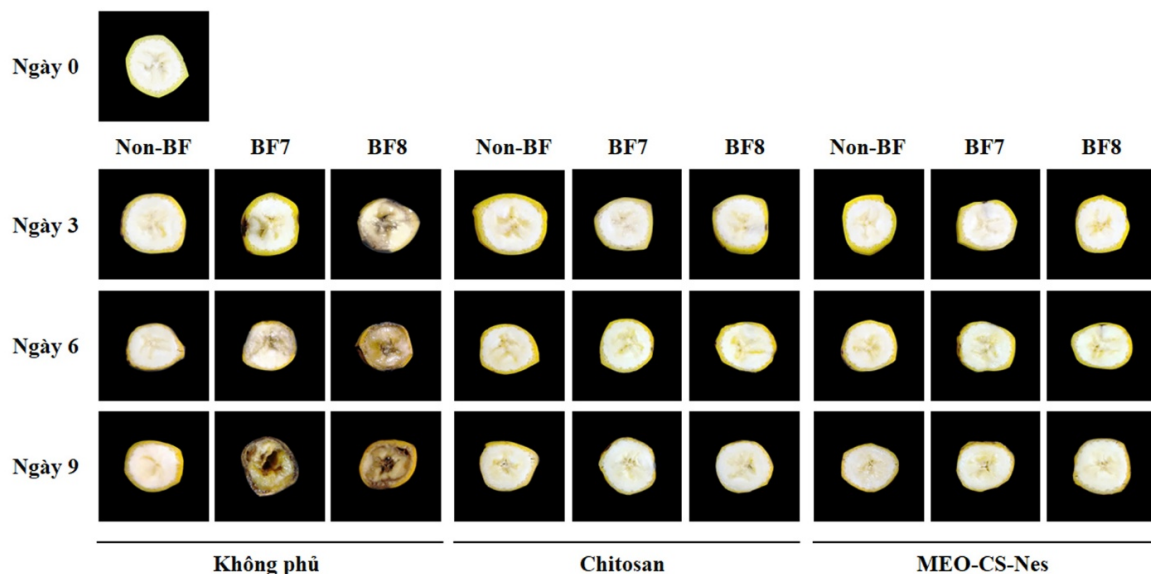
Bảng 5. Ảnh hưởng của nhũ tương nano chitosan chứa tinh dầu trầm đến sự hoạt động của polyphenol oxidase trên chuối sau thu hoạch sau 9 ngày bảo quản

Polyphenol oxidase (PPO) U/mL trong 1 phút				
Ngày 0				
137,72 ± 11,13				
		Ngày 3	Ngày 6	Ngày 9
Không phủ	Non-BF	230,81 ± 6,93 ^{ab}	209,79 ± 24,87 ^{bc}	177,53 ± 1,32 ^{ab}
	BF7	264,69 ± 5,45 ^{ab}	213,81 ± 8,67 ^b	209,14 ± 4,43 ^a
	BF8	232,34 ± 30,02 ^{ab}	271,38 ± 6,59 ^a	207,73 ± 43,46 ^a
Chitosan	Non-BF	219,71 ± 12,30 ^b	201,05 ± 20,18 ^{bcd}	158,31 ± 2,32 ^b
	BF7	163,60 ± 3,03 ^{de}	179,24 ± 8,68 ^{cde}	145,79 ± 4,66 ^b
	BF8	199,88 ± 5,14 ^{bc}	191,23 ± 6,36 ^{ced}	177,16 ± 3,82 ^b
MEO-CS-Nes	Non-BF	134,65 ± 10,32 ^{ef}	167,87 ± 4,89 ^{de}	153,56 ± 0,59 ^b
	BF7	171,40 ± 10,38 ^{cd}	160,78 ± 2,07 ^e	148,63 ± 1,77 ^b
	BF8	127,21 ± 0,68 ^f	164,32 ± 1,54 ^e	152,17 ± 0,60 ^b

Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa về mặt thống kê về hoạt tính polyphenol oxidase của chuối giữa các nhóm xử lý khác nhau ở mức $P < 0,05$; Non-BF: không nhiễm nấm; BF7: *L. theobromae*; BF8: *C. gloeosporioides*; MEO-CS-NEs: nhũ tương nano từ chitosan và tinh dầu trầm.

Bảng 6. Ảnh hưởng của nhũ tương nano chitosan chứa tinh dầu trầm đến sự hoạt động của peroxidase trên chuối sau thu hoạch sau 9 ngày bảo quản

Peroxidase (POD) U/mL trong 1 phút				
Ngày 0				
106,21 ± 8,71				
		Ngày 3	Ngày 6	Ngày 9
Không phủ	Non-BF	152,75 ± 5,88 ^b	176,37 ± 0,79 ^c	153,46 ± 6,41 ^e
	BF7	158,99 ± 0,51 ^{ab}	231,18 ± 2,02 ^b	188,45 ± 0,10 ^b
	BF8	178,79 ± 5,72 ^a	306,48 ± 5,94 ^a	205,68 ± 3,02 ^a
Chitosan	Non-BF	68,53 ± 4,37 ^{ef}	142,28 ± 5,58 ^d	97,95 ± 2,69 ^g
	BF7	111,32 ± 7,75 ^c	134,72 ± 5,02 ^{de}	164,68 ± 3,69 ^d
	BF8	142,78 ± 24,40 ^b	171,37 ± 3,02 ^c	179,01 ± 2,27 ^c
MEO-CS-NEs	Non-BF	46,59 ± 0,91 ^f	129,79 ± 2,48 ^e	94,55 ± 3,75 ^g
	BF7	99,34 ± 0,63 ^{cd}	133,72 ± 0,90 ^{de}	156,34 ± 0,25 ^{de}
	BF8	81,60 ± 0,81 ^{de}	134,74 ± 4,99 ^{de}	139,59 ± 0,17 ^f

A

B


Hình 2. Ảnh hưởng của nhũ tương nano chitosan chứa tinh dầu trầm đến sự thay đổi màu sắc và phát triển nấm bệnh trên vỏ (A) và thịt quả (B) chuối sau thu hoạch sau 9 ngày bảo quản. Non-BF: không nhiễm, BF7: *L. theobromae*, BF8: *C. gloeosporioides*, MEO-CS-Nes: nhũ tương nano từ chitosan và tinh dầu trầm.

4. Kết Luận

Nghiên cứu này chứng minh rằng hạt MEO-CS-Nes có hiệu quả kiểm soát các vi nấm gây bệnh sau thu hoạch trên chuối, bao gồm *L. theobromae* và *C. gloeosporioides*, với giá trị MIC/MFC lần lượt là 62,5/125 và 62,5/250 ppm. Sau 9 ngày, chuối được xử lý bằng MEO-CS-Nes vẫn giữ được độ cứng cao hơn đáng kể (969,33 g) so với chuối không được xử lý (631,33 g), và chuối được xử lý bằng nano chitosan (779,50 g). Chất MEO-CS-Nes cũng ức chế quá trình hóa nâu do enzyme bằng cách giảm hoạt động của PPO và POD (lần lượt là 153,56 và 94,55 U/mL trong 1 phút) so với chuối không được xử lý (177,53 và 153,46 U/mL trong 1 phút), và nhóm xử lý nano chitosan (158,31 và 97,95 U/mL trong 1 phút). Về mặt cảm quan, MEO-CS-Nes ức chế sự lây lan của nấm bệnh trên vỏ cũng như sự xâm nhập vào thịt quả hiệu quả hơn so với nano chitosan. Những kết quả này chứng minh sự kết hợp của các hạt nano chitosan với tinh dầu trầm có hiệu hơn so với các hạt nano chitosan đơn lẻ, làm nổi bật MEO-CS-Nes như một giải pháp thay cho chất bảo quản hóa học để kéo dài thời hạn sử dụng của chuối và đóng góp vào phát triển nông nghiệp bền vững.

Lời Cam Đoan

Chúng tôi cam đoan bài báo do nhóm tác giả thực hiện và chưa được công bố trong bất kỳ nghiên cứu nào khác.

Lời Cảm Ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam, mã số đề tài: 2024.01.161.

Tài Liệu Tham Khảo (References)

- Barik, M., BhagyaRaj, G., Dash, K. K., & Shams, R. (2024). A thorough evaluation of chitosan-based packaging film and coating for food product shelf-life extension. *Journal of Agriculture and Food Research* 16, 101164. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101164>.
- Bashlouei, S. G., Karimi, E., Zareian, M., Oskoueian, E., & Shakeri, M. (2022). Heracleum persicum essential oil nanoemulsion: A nanocarrier system for the delivery of promising anticancer and antioxidant bioactive agents. *Antioxidants* 11(5), 831. <https://doi.org/10.3390/antiox11050831>.
- BenJemaa, M., Rahali, F. Z., Falleh, H., Beji-Serairi, R., Megdiche-Ksouri, W., Hamrouni, I., Hammami, M., Nehme, R., Pereira, R. B., & Andrés, S. (2022). Essential oil stabilisation by response surface methodology (RSM): Nanoemulsion formulation, physicochemical, microbiological, and sensory investigations. *Molecules* 27(21), 7330. <https://doi.org/10.3390/molecules27217330>.
- Chen, H., Li, J., Chen, X., Mei, L., Feng, S., Duan, P., Cai, H., Qu, K., Zhang, J., & Miao, Y. (2024). Development and characterization of *Artemisia argyi* essential oil-loaded nanoemulsion for sustainable weed control: Enhanced stability, amplified activity, protected non-target. *Journal of Cleaner Production* 457, 142487. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142487>.
- Das, S. K., Vishakha, K., Das, S., & Ganguli, A. (2023). Antibacterial and antibiofilm activities of nanoemulsion coating prepared by using caraway oil and chitosan prolongs the shelf life and quality of bananas. *Applied Food Research* 3(1), 100300. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100300>.
- De Carvalho-Guimarães, F. B., Correa, K. L., de Souza, T. P., Rodriguez Amado, J. R., Ribeiro-

- Costa, R. M., & Silva-Júnior, J. O. C. (2022). A review of Pickering emulsions: perspectives and applications. *Pharmaceuticals* 15(11), 1413. <https://doi.org/10.3390/ph15111413>.
- El-Zehery, H. R., Zaghloul, R. A., Abdel-Rahman, H. M., Salem, A. A., & El-DougDoug, K. (2022). Novel strategies of essential oils, chitosan, and nano-chitosan for inhibition of multi-drug resistant: *E. coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes*. *Saudi Journal of Biological Sciences* 29(4), 2582-2590. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.02.016>.
- Felicia, W. X. L., Kobun, R., Aqilah, N. M. N., Mantihal, S., & Huda, N. (2024). Chitosan/ aloe vera gel coatings infused with orange peel essential oils for fruits preservation. *Current Research in Food Science* 8, 100680. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100680>.
- Goswami, S. K., Singh, V., Chakdar, H., & Choudhary, P. (2018). Harmful effects of fungicides-Current status. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology* 11, 1011-1019. <https://doi.org/10.30954/0974-1712.12.2018.15>.
- Juneidi, I., Hayyan, M., & Hashim, M. A. (2015). Evaluation of toxicity and biodegradability for cholinium-based deep eutectic solvents. *RSC Advances* 5(102), 83636-83647. <https://doi.org/10.1039/C5RA13045B>.
- Kim, J. W., & Youn, K. S. (2013). Effects of ripeness degree on the physicochemical properties and antioxidative activity of banana. *Korean Journal of Food Preservation* 20(4), 475-481. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2013.20.4.475>.
- Kusumaningrum, D., Lee, S. H., Lee, W. H., Mo, C., & Cho, B. K. (2015). A review of technologies to prolong the shelf life of fresh tropical fruits in Southeast Asia. *Journal of Biosystems Engineering* 40(4), 345-358. <https://doi.org/10.5307/JBE.2015.40.4.345>.
- Lassois, L., Jijakli, M. H., Chillet, M., & De Lapeyre de Bellaire, L. (2010). Crown rot of bananas: preharvest factors involved in postharvest disease development and integrated control methods. *Plant Disease* 94(6), 648-658. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-6-0648>.
- Le, K. H., La, D. D., Nguyen, P. T. M., Nguyen, M. D. B., Vo, A. T. K., Nguyen, M. T. H., Tran, D. L., Chang, S. W., Nguyen, X. H., & Nguyen, D. D. (2021). Fabrication of *Cleistocalyx operculatus* extracts/chitosan/gum arabic composite as an edible coating for preservation of banana. *Progress in Organic Coatings* 161, 106550. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106550>.
- Nguyen, Q. D., Dang, D. H., Nguyen Ngoc, T. T., Pham, Q. D., Nguyen, V. L., & Do, A. D. (2024). Identification of pathogenic fungi causing postharvest disease of banana fruit (*Musa acuminata* Cavendish subgroup) in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Journal of Phytopathology* 172(5), e13401. <https://doi.org/10.1111/jph.13401>.
- Padam, B. S., Tin, H. S., Chye, F. Y., & Abdullah, M. I. (2014). Banana by-products: an under-utilized renewable food biomass with great potential. *Journal of Food Science and Technology* 51, 3527-3545. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0760-3>.
- Rastegar, S., Khankahdani, H. H., & Rahimzadeh, M. (2020). Effects of melatonin treatment on the biochemical changes and antioxidant enzyme activity of mango fruit during storage. *Scientia Horticulturae* 259, 108835. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108835>.
- Riseh, R. S., Vatankhah, M., Hassanisaadi, M., & Kennedy, J. F. (2023). Chitosan-based nanocomposites as coatings and packaging materials for the postharvest improvement of agricultural product: A review. *Carbohydrate Polymers* 309, 120666. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120666>.

- Shalaby, S., & Horwitz, B. A. (2015). Plant phenolic compounds and oxidative stress: integrated signals in fungal-plant interactions. *Current Genetics* 61, 347-357. <https://doi.org/10.1007/s00294-014-0451-2>.
- Siddique, S., Mazhar, S., & Parveen, Z. (2018). Chemical characterization, antioxidant and antimicrobial activities of essential oil from *Melaleuca quinquenervia* leaves. *Indian Journal of Experimental Biology* 56(09), 686-693.
- Zulu, L., Gao, H., Zhu, Y., Wu, H., Xie, Y., Liu, X., Yao, H., & Rao, Q. (2023). Antifungal effects of seven plant essential oils against *Penicillium digitatum*. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 10(1), 82. <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00456-w>.