

Phát triển lớp phủ chitosan kết hợp CeO₂ tổng hợp dung nhiệt bằng kỹ thuật phun trong bảo quản chuối

Phạm Trần Bảo Trân^{1,2,*}, Nguyễn Thị Thương^{2,3}

¹Trung tâm Phát triển Công nghệ cao Đại học Nguyễn Tất Thành, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, TP HCM

²Viện Ứng dụng Công nghệ và Phát triển bền vững, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, TP HCM

³Khoa Khoa học Ứng dụng và Công nghệ, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, TP HCM

*ptbtran@ntt.edu.vn

Tóm tắt

Nghiên cứu này nhằm đánh giá hiệu quả của lớp phủ chitosan kết hợp CeO₂ (chitosan/CeO₂) vào bảo quản chuối Laba bằng phương pháp phun. Các chỉ tiêu được theo dõi gồm: chỉ số hóa nâu, cường độ hô hấp, độ cứng, tỷ lệ hao hụt khối lượng, tổng chất rắn hoà tan, và hàm lượng axit tổng. Kết quả cho thấy lớp phủ chitosan/CeO₂ thể hiện hiệu quả vượt trội trong việc kéo dài thời gian bảo quản chuối so với lớp phủ chitosan, thông qua khả năng làm giảm cường độ hô hấp của quả. Hiệu quả này được thể hiện thông qua sự thay đổi thấp nhất của các chỉ tiêu chất lượng, bao gồm tỷ lệ hao hụt khối lượng (16,23 %), tổng hàm lượng chất rắn hoà tan (23,70 %) và hàm lượng axit tổng (0,223 % axit malic) sau 8 ngày lưu trữ ở 20 °C và 64 % Relative Humidity (RH). Kết quả của đề tài có thể góp phần nâng cao hiệu quả kinh tế của ngành công nghiệp chuối tươi trong quá trình kinh doanh và xuất khẩu. Kết quả nghiên cứu cho thấy quả được phủ bằng phương pháp phun dung dịch chitosan/CeO₂ có hiệu quả rõ rệt trong việc bảo quản chuối sau thu hoạch.

Nhận 11/08/2025

Được duyệt 03/11/2025

Công bố 28/02/2026

Từ khóa

bảo quản chuối Laba, chitosan, CeO₂ tổng hợp từ phương pháp dung nhiệt, lớp phủ phun

© 2026 Journal of Science and Technology - NTTU

1 Giới thiệu

Chuối là loại trái cây nhiệt đới phổ biến thuộc chi *Musa*, họ *Musaceae*, có nguồn gốc chủ yếu từ hai loài lưỡng bội *Musa acuminata* và *Musa balbisiana* [1]. Theo FAO, lượng tiêu thụ ở châu Á chiếm 54,4 % sản lượng chuối toàn cầu, với mức trung bình khoảng 12 kg/người/năm. Chuối là nguồn dinh dưỡng quan trọng, giàu kali, đường khử, chất xơ, vitamin (B, C, và E), với các hợp chất polyphenol, flavonoid, carotenoid và axit amin. Vỏ chuối chiếm (30-40) % trọng lượng quả, chứa nhiều chất xơ, pectin, protein, lipid và khoáng vi lượng,

với thành phần hóa học thay đổi theo từng giai đoạn chín [1]. Ngoài ra, thịt chuối có chứa hàm lượng ẩm cao (70-80) % và có tính axit nhẹ do chứa các axit hữu cơ như axit malic và axit oxalic. Tuy nhiên, tương tự như các loại quả có đỉnh hô hấp khác, chuối dễ bị hư hỏng do quá trình hô hấp diễn ra liên tục, thúc đẩy quá trình chín và làm giảm chất lượng sau thu hoạch. Các kỹ thuật sau thu hoạch được áp dụng để kéo dài thời gian bảo quản chuối, chẳng hạn như sử dụng phương pháp bảo quản ở nhiệt độ thấp, hóa chất, khí ức chế ethylene và lớp phủ ăn được. Mặc dù, bảo quản ở nhiệt độ thấp

làm giảm hô hấp và sự phát triển của vi sinh vật, chuỗi dễ bị tổn thương lạnh ở nhiệt độ dưới 13 °C, có thể làm hỏng vỏ, dẫn đến đổi màu và mất hương vị [2]. Việc sử dụng các hóa chất như nitor oxit hoặc axit salicylic có thể làm chậm quá trình chín hiệu quả, nhưng chúng gây ra mối đe dọa về độc tính, và có khả năng ảnh hưởng đến hệ thần kinh và sức khỏe của người tiêu dùng nếu tích tụ trong thời gian dài. Trong khi đó, các chất điều hòa sinh trưởng thực vật theo cơ chế ức chế ethylene được xem là lựa chọn hiệu quả để kéo dài thời gian bảo quản, tiêu biểu là 1-Methylcyclopropene. Dù mang lại hiệu quả rõ rệt, 1-Methylcyclopropene vẫn bị hạn chế bởi chi phí cao và tính khả thi khi triển khai trên quy mô lớn [2]. Trong những năm gần đây, lớp phủ ăn được ngày càng được quan tâm nhờ khả năng tạo lớp màng bảo vệ trên bề mặt quả, giúp điều hòa trao đổi khí, hạn chế mất nước và hô hấp, đồng thời an toàn, không gây độc hại [3]. Các vật liệu tạo màng đã được nghiên cứu và ứng dụng phổ biến như chitosan, pectin, alginate, tinh bột, cellulose và protein tự nhiên [3].

Lớp phủ trên trái cây có thể được hình thành bằng hai phương pháp phổ biến là nhúng (dip-coating) và phun (spray-coating). Phương pháp nhúng là quá trình đưa trực tiếp trái cây vào dung dịch phủ trong một khoảng thời gian nhất định, sau đó để khô tự nhiên nhằm hình thành lớp màng đồng đều trên bề mặt. Phương pháp này đơn giản, dễ thực hiện và thích hợp cho quy mô nhỏ, nhưng có nhược điểm là tiêu tốn nhiều dung dịch phủ, hiệu suất sử dụng nguyên liệu thấp và tiềm ẩn nguy cơ lây nhiễm chéo vi sinh vật [4]. Ngoài ra, quá trình nhúng có thể làm mất lớp phủ tự nhiên, như lớp sáp trên bề mặt trái cây và rau quả, làm giảm chức năng bảo vệ tự nhiên của chúng [4]. Trong khi đó, phương pháp phun sử dụng thiết bị tạo sương để phân tán dung dịch phủ lên bề mặt trái cây một cách mịn và đều [4]. Ưu điểm nổi bật của phương pháp phun là tiết kiệm nguyên liệu, dễ kiểm soát độ dày lớp phủ, phù hợp với sản xuất quy mô lớn và hạn chế lây nhiễm chéo. Do đó, việc lựa chọn phương pháp phù hợp để phủ chế phẩm lên trên bề mặt trái cần được lưu ý về mặt kinh tế, môi trường và chất lượng sản phẩm.

Chitosan là polysaccharide tự nhiên thu được từ quá trình deacetyl hóa chitin – thành phần chính của vỏ giáp xác và một số loài nấm [5]. Chitosan gồm các đơn vị

D-glucosamine và N-acetyl-D-glucosamine liên kết bởi liên kết β -(1 \rightarrow 4)-glycoside. Chitosan có khả năng tạo màng tốt, kháng khuẩn, kháng nấm, chống oxy hóa và phân hủy sinh học cao, do đó được ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực bảo quản thực phẩm, đặc biệt là làm lớp phủ sinh học giúp kéo dài thời gian bảo quản rau quả [5]. Gần đây, xu hướng kết hợp chitosan với các hạt nano như ZnO, graphene oxit, hoặc bạc nhằm tăng cường tính chất cơ lý, khả năng kháng khuẩn và cản khí cho lớp phủ [5]. Tuy nhiên, nhược điểm của các nghiên cứu này là một số hạt nano có thể gây độc tính (như bạc ở hàm lượng (1-10) μ g/mL [6] và ZnO ở hàm lượng (10-50) μ g/mL [7]) nếu xâm nhập vào thực phẩm.

Trong nghiên cứu này, CeO₂ được lựa chọn để kết hợp vào chitosan bởi khả năng hấp phụ ethylene [8], giúp cải thiện hiệu quả bảo quản của màng. CeO₂ có độ ổn định cao, không tan trong nước và có tính oxy hóa-khử mạnh, đồng thời an toàn với sức khỏe con người [9]. Phương pháp sử dụng CeO₂ để tích hợp vào vật liệu bao gói đã tăng lên đáng kể vì CeO₂ được báo cáo là ít gây độc hơn bạc và ZnO. Theo báo cáo, liều lượng CeO₂ thấp (< 88 ppm) được xem là an toàn và không gây độc tế bào cho con người và được ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực y sinh [10]. Trong số các phương pháp tổng hợp CeO₂, phương pháp tổng hợp ở nhiệt độ thấp thông qua kỹ thuật dung nhiệt cho thấy độ kết tinh cao, hình thái rõ ràng, kích thước hạt nhỏ, độ tinh khiết cao và độ phân tán tốt, khiến chúng trở nên lý tưởng để kết hợp vào polyme [11]. Vì vậy, việc tích hợp CeO₂ tổng hợp từ phương pháp dung nhiệt vào màng chitosan được kỳ vọng có thể tăng khả năng chống oxy hóa, hạn chế sự bay hơi nước, đồng thời giảm sự hình thành ethylene – từ đó kéo dài đáng kể thời gian bảo quản chuỗi sau thu hoạch mà vẫn đảm bảo an toàn và thân thiện với môi trường.

Mục tiêu của nghiên cứu này là phát triển màng phủ sinh học chitosan/CeO₂ nhằm kéo dài thời gian lưu trữ của chuỗi thông qua việc hạn chế hao hụt khối lượng do mất nước, ức chế quá trình hô hấp, đồng thời duy trì chất lượng cảm quan và dinh dưỡng của quả chuỗi. Trong nghiên cứu này, phương pháp phun được lựa chọn thay vì phương pháp nhúng do ưu thế về khả năng ứng dụng thực tiễn, tiết kiệm dung dịch phủ, đảm bảo vệ sinh an toàn thực phẩm, dễ kiểm soát độ dày lớp phủ, và phù hợp với ứng dụng mở rộng trong quy mô công



nghiệp. Việc tích hợp CeO₂ vào chitosan được kỳ vọng góp phần giảm tốc độ trao đổi khí và cường độ hô hấp của quả, qua đó làm chậm quá trình chín của chuối. Cụ thể, nghiên cứu khảo sát hiệu quả bảo quản của chế phẩm chitosan kết hợp với 1,5 % CeO₂ tổng hợp bằng phương pháp dung nhiệt, thông qua các chỉ tiêu như độ cứng, tỷ lệ hao hụt khối lượng, chỉ số hóa nâu, tổng hàm lượng chất rắn hòa tan, hàm lượng axit tổng và tốc độ sản sinh CO₂ trong suốt quá trình lưu trữ.

2 Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1 Hóa chất

Chitosan (DD (75-85) %, Mw 190-310 kDa, Sigma-Aldrich), Ce(NO₃)₃·6H₂O (Shanghai Zhanyun Chemical), và các hóa chất khác (axit axetic, glycerol, n-butanol, ethanol, và NaOH; Xilong) đều có độ tinh khiết phân tích.

2.2 Quy trình tổng hợp CeO₂

Phương pháp nhiệt dung môi được sử dụng để tổng hợp CeO₂ do quy trình đơn giản và nhiệt độ tổng hợp thấp, như trong nghiên cứu [12]. Đầu tiên, 1,92 g Ce(NO₃)₃·6H₂O được hòa tan trong 60 mL dung dịch n-butanol trong điều kiện khuấy từ liên tục trong 30 phút ở nhiệt độ phòng (25 °C). Sau đó, dung dịch thu được được đặt trong lò ở 140 °C trong 12 giờ và được để nguội tự nhiên đến nhiệt độ phòng. Việc tách các kết tủa màu vàng thu được được thực hiện thông qua quá trình ly tâm trước khi được rửa kỹ bằng ethanol và nước cất. Sau đó, sản phẩm thu được được sấy khô ở 80 °C trong 12 giờ.

2.3 Quy trình chuẩn bị dung dịch chitosan/CeO₂

Dung dịch chitosan 1% (w/v) được chuẩn bị bằng cách hoà tan hoàn toàn bột chitosan trong dung dịch axit axetic 1% (v/v) với tỷ lệ dung dịch chitosan:axit axetic là 1:100 (g/mL). Sau đó, 30 % (w/w) glycerol được thêm vào với vai trò là chất hóa dẻo và hỗn hợp dung dịch được khuấy tiếp tục trong 1 giờ. Tiếp theo, 1,5 % (w/w) CeO₂ được thêm từ từ vào dung dịch chitosan dẻo hóa bằng glycerol và khuấy từ trong 60 phút. Hỗn hợp được siêu âm trong 1 giờ để đảm bảo CeO₂ được phân tán hoàn toàn trong dung dịch polyme.

2.4 Quy trình bảo quản chuối bằng phương pháp phun 120 quả chuối Laba được thu mua từ các thương lái tại thành phố Đà Lạt (trước đây), sau đó được vận chuyển đến kho lạnh trong đêm để hạn chế quá trình chín sinh

lý. Mẫu được lưu trữ ở 20 °C trong 2 ngày nhằm ổn định trạng thái trước khi vận chuyển đến phòng thí nghiệm để tiến hành đánh giá phân tích. Chuối có tổng hàm lượng chất rắn hòa tan ban đầu là 13,57 % và axit tổng là 0,503 %, hình dạng, kích thước đồng đều, khối lượng (110-135) g/quả và được rửa sạch bằng nước và để ráo. Chuối được tách thành từng quả riêng lẻ và chia thành 3 nhóm: nhóm đối chứng (control), nhóm phủ chitosan, và nhóm phủ chitosan/CeO₂. Các nhóm được phủ chế phẩm bằng phương pháp phun áp suất ở 3 bar với khoảng cách 25 cm tính từ vòi phun đến bề mặt vỏ chuối. Trong quá trình phun, từng quả chuối được xoay tròn liên tục để đảm bảo tiếp xúc đồng đều, đồng thời vòi phun được di chuyển theo chiều lên – xuống dọc theo bề mặt quả. Sau đó, các quả được để khô 30 phút để đảm bảo lớp phủ khô hoàn toàn và quá trình phun được lặp lại 3 lần để tạo ra lớp phủ đồng đều trên vỏ. Các mẫu chuối được bảo quản ở 20 °C và độ ẩm tương đối 64% (RH). Trong suốt thời gian bảo quản, các chỉ tiêu chất lượng được đánh giá theo ngày, với 5 quả/nhóm được chọn ngẫu nhiên để phân tích cường độ hô hấp, độ cứng, tổng hàm lượng chất rắn hoà tan và hàm lượng axit tổng chuẩn độ. Đối với chỉ tiêu đánh giá chỉ số hóa nâu và tỷ lệ hao hụt khối lượng, mỗi nhóm sử dụng 5 quả và được đánh số cố định để cân/đo lặp lại hằng ngày trong suốt thời gian bảo quản. Các giá trị màu sắc và khối lượng được ghi nhận để xác định giá trị theo phương pháp dưới đây.

2.5 Phương pháp đánh giá các chỉ tiêu chất lượng của chuối trong quá trình bảo quản

2.5.1 Chỉ số hóa nâu

Chỉ số hóa nâu được xác định thông qua sự thay đổi màu sắc của vỏ quả trong suốt quá trình bảo quản bằng thiết bị đo màu Konica Minolta CR-400 (Japan) với hệ không gian màu CIE LAB. Chỉ số hóa nâu (BI) được xác định theo công thức (1).

$$BI = \frac{x - 0,31}{0,17} \times 100 \quad (1),$$

$$\text{với } x = \frac{a + 1,75L}{5,645L + a - 0,012b}$$

Trong đó giá trị L đại diện cho độ tối (-) – sáng (+), a đại diện sắc tố xanh lá (-) – đỏ (+), và b đại diện sắc tố xanh dương (-) – vàng (+).

2.5.2 Tỷ lệ hao hụt khối lượng

Các quả được đo tỷ lệ độ mất khối lượng bằng cân điện tử Ohaus (Thailand) và được tính theo công thức sau:

$$\Delta m (\%) = \frac{m_0 - m_i}{m_0} \times 100 \quad (2)$$

Trong đó, m_0 là khối lượng ngày đầu tiên và m_i là khối lượng ngày tiếp theo.

2.5.3 Cường độ hô hấp

Cường độ hô hấp của chuối trong quá trình bảo quản được xác định bằng cách đo sự thay đổi lượng CO_2 được tạo ra ($\text{mgCO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$). Đối với mỗi nhóm, năm quả được đặt riêng biệt trong thùng kín (2 L) ở 20°C trong 2 giờ trước khi được đo bằng máy phân tích khí Headspace GS6000 Systech Illinois (England).

2.5.4 Độ cứng

Độ cứng của thịt chuối được xác định bằng thiết bị phân tích cấu trúc thực phẩm TA.XT plus (England). Thử nghiệm được thực hiện với đầu dò hình cầu bằng thép

$$\text{TA (\% axit malic)} = \frac{V_{\text{NaOH sử dụng}} \times C_{\text{N NaOH}} \times 0,067 \times V_{\text{dịch lọc}}}{m_{\text{thịt chuối}}} \times 100 \quad (3)$$

3 Kết quả và thảo luận

3.1 Ảnh hưởng của các phương pháp bảo quản đến cảm quan của chuối

Sự thay đổi hình thái của chuối đối chứng và chuối được phủ dung dịch chế phẩm được trình bày trong Hình 1. Các nhóm chuối chuyển sang màu vàng vào ngày thứ 2 (ngoại trừ trái được phủ chitosan/ CeO_2).

không gỉ đường kính 6 mm, độ sâu 10 mm và tốc độ 5 mm/s. Phép đo được thực hiện trên 5 quả chuối ở vị trí giữa để tính độ cứng trung bình và kết quả hiển thị được ghi lại dưới dạng gf và được chuyển đổi thành Newton (N).

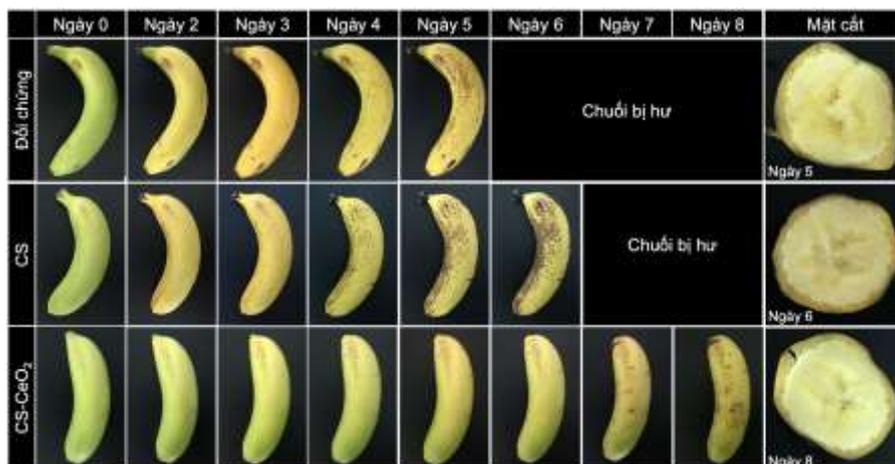
2.5.5 Tổng hàm lượng chất rắn hòa tan

Thịt quả được xác định tổng hàm lượng chất rắn hòa tan bằng khúc xạ kế Atago PAL-1 (Japan).

2.5.6 Hàm lượng axit tổng chuẩn độ

Hàm lượng axit tổng (TA) được xác định bằng phương pháp chuẩn độ. Theo đó, 10 g mẫu thịt quả được xay nhuyễn với 100 mL nước cất trong 60 giây. Sau đó, dịch lọc thu được bằng cách lọc qua hệ thống lọc chân không. Tiếp theo, 10 mL dung dịch được chuẩn độ với NaOH 0,1 N (sử dụng phenolphthalein 1 % làm chất chỉ thị). Quá trình chuẩn độ dừng lại khi dung dịch chuyển từ không màu sang màu hồng bền trong ít nhất 30 giây. Giá trị TA được tính bằng công thức (3) với 0,067 là hệ số mili đương lượng của axit malic trong chuối.

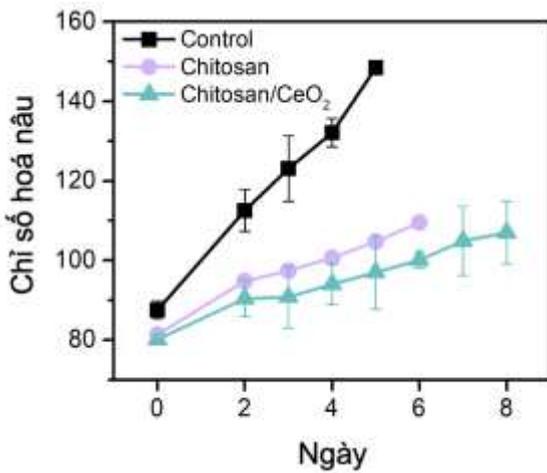
Các đốm nâu trên vỏ của các nhóm chuối xuất hiện vào ngày thứ 4. Trong khi đó, mẫu phủ chitosan/ CeO_2 giữ được màu vỏ tươi sáng và hạn chế rõ rệt hiện tượng hóa nâu đến ngày cuối của quá trình lưu trữ. Kết thúc thời gian bảo quản, nhóm đối chứng và nhóm phủ chitosan có vẻ ngoài kém hấp dẫn, dập và phần thịt mềm nhũn so với các quả được phun chế phẩm chitosan/ CeO_2 ở cùng ngày lưu trữ.



Hình 1 Sự thay đổi màu sắc và hình thái của chuối tại các thời điểm khác nhau trong quá trình bảo quản (CS: mẫu chuối phủ dung dịch chitosan, CS- CeO_2 : mẫu chuối phủ dung dịch CS- CeO_2)

3.2 Ảnh hưởng của các phương pháp bảo quản đến chỉ số hóa nâu của chuối

Kết quả phân tích chỉ số hóa nâu (Hình 2) cho thấy xu hướng tương đồng với những thay đổi quan sát được trên quả bằng đánh giá trực quan. Cụ thể, chỉ số hóa nâu của mẫu đối chứng tăng nhanh từ 87,60 (ngày 0) lên 148,59 (ngày 5), trong khi mẫu được phủ tầng chậm hơn. Cụ thể, từ ngày 0 đến ngày 5, nhóm chuối phủ chitosan có chỉ số hóa nâu tăng từ 81,40 lên 104,75, trong khi nhóm phủ chitosan/CeO₂ có chỉ số hóa nâu tăng nhẹ từ 80,25 lên 97,04. Nhìn chung, quá trình hóa nâu của chuối có phủ chitosan/CeO₂ chậm hơn gần 3,5 lần so với chuối không phủ. Điều này cho thấy hiệu quả của lớp phủ chitosan/CeO₂ trong việc hạn chế hoạt động của enzyme polyphenol oxidase và làm chậm quá trình oxy hóa phenol – nguyên nhân chính gây hóa nâu trên vỏ quả [13].



Hình 2 Chỉ số hóa nâu của chuối tại các thời điểm khác nhau trong quá trình bảo quản (*Chitosan: mẫu chuối phủ dung dịch chitosan, Chitosan/CeO₂: mẫu chuối phủ dung dịch Chitosan/CeO₂*)

3.3 Ảnh hưởng của các phương pháp bảo quản đến cường độ hô hấp của chuối

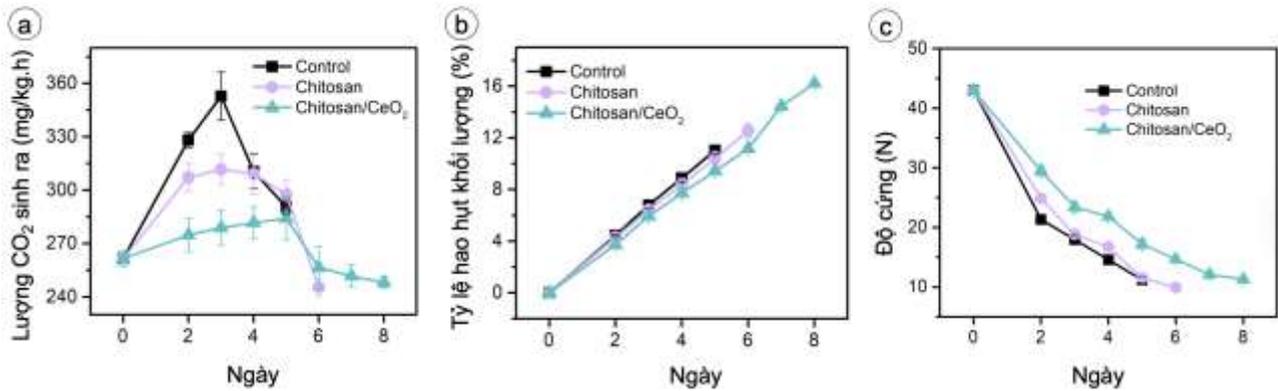
Chuối thuộc nhóm quả có đỉnh hô hấp, đặc trưng bởi việc vẫn duy trì quá trình hô hấp mạnh và tiếp tục chín sau khi được thu hoạch. Quá trình hô hấp sử dụng O₂ từ môi trường xung quanh để tạo ra nhiều CO₂ hơn. Cường độ hô hấp được xác định thông qua lượng CO₂

sinh ra (mgCO₂/kg·h), là chỉ tiêu phản ánh mức độ trao đổi chất của quả theo phương trình sau $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 + 6 H_2O \rightarrow 6 CO_2 + 12 H_2O$. Mẫu đối chứng có sự tăng cường độ hô hấp nhanh hơn so với các nhóm còn lại và đạt đỉnh vào ngày 3 (352,83 mgCO₂/kg·h) (Hình 3a), cho thấy quá trình chín diễn ra sớm hơn. Trong khi đó, mẫu phủ chitosan và chitosan/CeO₂ có sự tăng cường độ hô hấp chậm hơn, đạt đỉnh vào ngày thứ 3 (311,58 mgCO₂/kg·h), và trái phủ chitosan/CeO₂ có đỉnh hô hấp vào ngày 5 (284,05 mgCO₂/kg·h).

Trong những nghiên cứu trước đây, lớp phủ chitosan có thể làm thay đổi môi trường không khí bên trong của trái cây, hoạt động như một lớp cản trao đổi khí (O₂, CO₂ và C₂H₄), làm giảm tốc độ hô hấp và làm chậm quá trình chín, mất nước và thối rữa ở trái cây có đỉnh hô hấp [14]. Sự chậm trễ trong quá trình đạt đỉnh hô hấp của trái phủ chitosan/CeO₂ so với những nhóm khác cho thấy lớp phủ này có thể tạo môi trường bán khí quyển ổn định quanh quả, làm giảm quá trình hô hấp và hạn chế sự kích hoạt của ethylene – hormone kích thích chín nhanh [15]. Tóm lại, lớp phủ chitosan/CeO₂ cho thấy khả năng làm chậm cường độ hô hấp hiệu quả hơn so với lớp phủ chitosan, góp phần làm chậm quá trình chín và mềm của chuối.

3.4 Ảnh hưởng của các phương pháp bảo quản đến tỷ lệ hao hụt khối lượng của chuối

Sự giảm khối lượng được ghi nhận trong suốt thời gian bảo quản. Tỷ lệ hao hụt khối lượng cao hơn cho thấy quá trình mất nước và bay hơi các chất dễ bay hơi diễn ra mạnh hơn, dẫn đến thời gian chín ngắn hơn [14]. Tỷ lệ hao hụt khối lượng tăng khi thời gian lưu trữ tăng (Hình 3b), chủ yếu do sự mất nước qua vỏ và hô hấp của quả. Nhóm đối chứng và chitosan cho thấy sự hao hụt khối lượng tăng nhanh hơn nhóm phủ chitosan/CeO₂. Cụ thể, mẫu đối chứng hao hụt 11,04 % khối lượng sau 5 ngày lưu trữ, trong khi độ hao hụt khối lượng ở các mẫu phủ chitosan và chitosan/CeO₂ lần lượt là 10,67 % và 9,44 %. Điều này chứng minh lớp phủ từ chế phẩm chitosan/CeO₂ có khả năng cản hơi nước hiệu quả, giúp hạn chế sự thất thoát hơi nước – nguyên nhân chính gây héo và giảm khối lượng.



Hình 3 Sự thay đổi cường độ hô hấp (a), tỷ lệ hao hụt khối lượng (b) và độ cứng (c) của chuối tại các thời điểm khác nhau trong quá trình bảo quản (*Chitosan: mẫu chuối phủ dung dịch chitosan, Chitosan/CeO₂: mẫu chuối phủ dung dịch Chitosan/CeO₂*)

3.5 Ảnh hưởng của các phương pháp bảo quản đến độ cứng của chuối

Độ cứng là yếu tố quan trọng liên quan đến độ tươi và cảm quan của trái cây. Độ cứng của tất cả các nhóm chuối giảm dần khi thời gian bảo quản tăng (Hình 3c), phản ánh quá trình mềm hóa do sự phân giải pectin và cellulose trong thành tế bào [14]. Xu hướng này tương đồng với sự gia tăng tỷ lệ hao hụt khối lượng, trong đó mẫu đối chứng và mẫu phủ chitosan thể hiện tốc độ giảm độ cứng nhanh hơn so với mẫu phủ chitosan/CeO₂. Mẫu đối chứng giảm độ cứng từ 43,04 N (ngày 0) xuống còn 11,22 N (ngày 5), mẫu chitosan và chitosan/CeO₂ có độ cứng là 11,55 N (ngày 5) và 17,23 N (ngày 5). Những kết quả thu được cho thấy hiệu quả của lớp phủ chitosan kết hợp với CeO₂ trong việc duy trì độ cứng của chuối. Lớp phủ này không chỉ làm chậm quá trình chín mềm mà còn duy trì kết cấu mô tế bào tốt hơn, hỗ trợ khả năng vận chuyển và bảo quản sau thu hoạch [14].

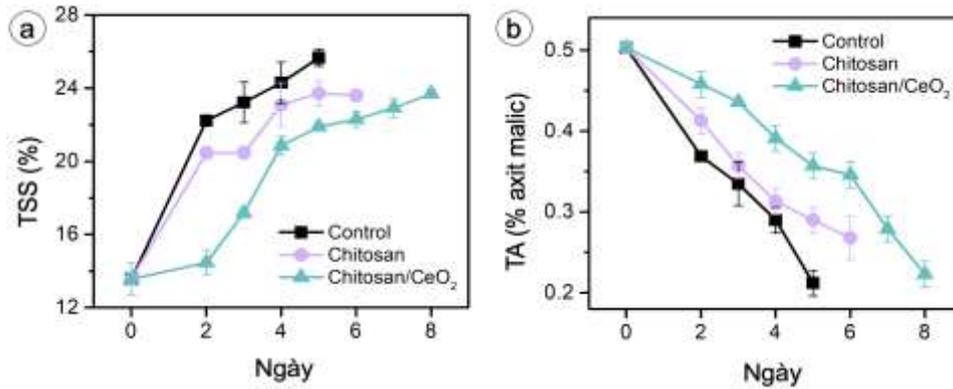
3.6 Ảnh hưởng của các phương pháp bảo quản đến tổng hàm lượng chất rắn hoà tan của chuối

Tổng hàm lượng chất rắn hòa tan (TSS) của chuối tăng dần theo thời gian bảo quản (Hình 4a). TSS của tất cả các nhóm có xu hướng tăng đáng kể trong suốt quá trình lưu trữ. Sự gia tăng TSS của quả chủ yếu đến từ quá trình chuyển hóa tinh bột và các hợp chất carbohydrate thành sucrose, glucose và fructose [14], dẫn đến tổng hàm lượng chất rắn hòa tan tăng. Mẫu không phủ và phủ chitosan có TSS tăng nhanh, đạt

25,67 % và 23,73 % tương ứng vào ngày 5. Ngược lại, sự gia tăng TSS ở mẫu phủ chitosan/CeO₂ chậm hơn, chỉ đạt 21,90 % ở cùng thời điểm. Điều này cho thấy tốc độ chuyển hóa tinh bột trong trái phủ chitosan/CeO₂ thành đường chậm hơn mẫu đối chứng. Xu hướng giảm chậm của TSS phù hợp với sự dịch chuyển chậm của đỉnh hô hấp được trình bày ở Hình 3a. Cường độ hô hấp bị ức chế làm chậm quá trình tổng hợp và sử dụng các chất chuyển hóa, dẫn đến TSS thấp hơn do quá trình thủy phân cacbohydrate thành đường chậm hơn [14].

3.6 Ảnh hưởng của các phương pháp bảo quản đến hàm lượng axit tổng của chuối

Ngược lại với TSS, hàm lượng axit tổng (TA) có xu hướng giảm dần theo thời gian do tiêu hao axit hữu cơ trong quá trình hô hấp [14]. TA của chuối giảm dần theo thời gian bảo quản ở cả mẫu phủ và không phủ (Hình 4b), do axit hữu cơ được sử dụng làm cơ chất cho quá trình hô hấp [14]. Tuy nhiên, mức giảm TA ở mẫu được phủ chậm hơn, cho thấy lớp phủ góp phần hạn chế cường độ hô hấp và chuyển hóa cơ chất. Mẫu đối chứng và mẫu chitosan có TA giảm nhanh hơn mẫu chitosan/CeO₂. Cụ thể, mẫu đối chứng giảm từ 0,503 (ngày 0) xuống còn 0,212 % axit malic (ngày 5), trong khi mẫu chitosan và chitosan/CeO₂ có TA lần lượt là 0,268 % axit malic (ngày 6) và 0,223 % axit malic (ngày 8). Điều này cho thấy hiệu quả của lớp phủ chitosan/CeO₂ trên việc trì hoãn sự giảm TA trong suốt quá trình lưu trữ.



Hình 4 Sự thay đổi tổng hàm lượng chất rắn hoà tan (a) và hàm lượng axit tổng (b) của chuối tại các thời điểm khác nhau trong suốt quá trình bảo quản (*Chitosan*: mẫu chuối phủ dung dịch chitosan, *Chitosan/CeO₂*: mẫu chuối phủ dung dịch Chitosan/CeO₂)

4 Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy, quả được phủ bằng phương pháp phun dung dịch chitosan kết hợp CeO₂ có hiệu quả rõ rệt trong việc bảo quản chuối sau thu hoạch. Lớp phủ này giúp giảm tốc độ hóa nâu, hạn chế quá trình hô hấp, duy trì độ cứng, giảm tỷ lệ hao hụt khối lượng và ổn định các chỉ tiêu hóa lý (TSS và TA) trong suốt quá trình bảo quản. Lớp phủ chitosan/CeO₂ cho thấy hiệu quả tổng thể vượt trội hơn so với các mẫu

không phủ và phủ chitosan, cho thấy tiềm năng ứng dụng thực tiễn đáng kể trong bảo quản nông sản. Nghiên cứu này góp phần xây dựng giải pháp bảo quản nông sản hiệu quả, an toàn và thân thiện với môi trường, hướng đến thay thế hóa chất bảo quản truyền thống trong chuỗi cung ứng nông nghiệp bền vững.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Thành phố Hồ Chí Minh trong khuôn khổ đề tài mã số 2024.01.150/HĐ-KHCN.

Tài liệu tham khảo

1. Khoozani, A. A, Birch, J., & Bekhit, A. E.-D. A. (2019). Production, application and health effects of banana pulp and peel flour in the food industry. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 548-559. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-03562-z>.
2. Jiang, Y., Joyce, D. C., Jiang, W., & Lu, W. (2004). Effects of chilling temperatures on ethylene binding by banana fruit. *Plant Growth Regulation*, 43(2), 109-115. <https://doi.org/10.1023/B:GROW.0000040112.19837.5f>.
3. Lacroix, M., & Vu, K. D. (2014). Edible Coating and Film Materials: Proteins. In J. H. Han (Ed.), *Innovations in Food Packaging* (pp. 277-304). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00011-4>.
4. Gui, X, Shang, B, & Yu, Y. (2023). Applications of electrostatic spray technology in food preservation. *LWT*, 190, 115568. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115568>.
5. Ashfaq, A., Khurshed, N., Fatima, S., Anjum, Z., & Younis, K. (2022). Application of nanotechnology in food packaging: Pros and Cons. *Journal of Agriculture and Food Research*, 7, 100270. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100270>.
6. Zhang, J., Wang, F., Yalamarty, S. S. K., Filipczak, N., Jin, Y., & Li, X. (2022). Nano Silver-Induced Toxicity and Associated Mechanisms. *International Journal of Nanomedicine*, 17, 1851-1864. <https://doi.org/10.2147/IJN.S355131>.
7. Jin, M., Li, N., Sheng, W., Ji, X., Liang, X., Kong, B., ... Liu, K. (2021). Toxicity of different zinc oxide nanomaterials and dose-dependent onset and development of Parkinson's disease-like symptoms induced by zinc oxide nanorods. *Environment International*, 146, 106179. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106179>.

8. Matussin, S. N., Harunsani, M. H., & Khan, M. M. (2023). CeO₂ and CeO₂-based nanomaterials for photocatalytic, antioxidant and antimicrobial activities. *Journal of Rare Earths*, 41(2), 167-181. <https://doi.org/10.1016/j.jre.2022.09.003>.
9. Melchionna, M., Trovarelli, A., & Fornasiero, P. (2019). Synthesis and properties of cerium oxide-based materials. In S. Scirè & L. Palmisano (Eds.), *Cerium Oxide (CeO₂): Synthesis, Properties and Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815661-2.00002-5>.
10. Chakraborty, S., Sahoo, K. R., Bera, D., Ghosh, C. K., & Roy, L. (2025). Mechanistic insights of free radical scavenging-driven stabilization of edible oils and their shelf life extension using CeO₂ nanoparticles. *Food Chemistry*, 472, 142834. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.142834>.
11. Walton, R. I. (2011). Solvothermal synthesis of cerium oxides. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 57(4), 93-108. <https://doi.org/10.1016/j.pcrysgrow.2011.10.002>.
12. Liu, B., Liu, B., Li, Q., Li, Z., Liu, R., Zou, X., Zou, G. (2010). Solvothermal synthesis of monodisperse self-assembly CeO₂ nanospheres and their enhanced blue-shifting in ultraviolet absorption. *Journal of Alloys and Compounds*, 503(2), 519-524. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.05.047>.
13. Bico, S. L. S., Raposo, M. F. J., Morais, R. M. S. C., & Morais, A. M. M. B. (2009). Combined effects of chemical dip and/or carrageenan coating and/or controlled atmosphere on quality of fresh-cut banana. *Food Control*, 20(5), 508-514. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.07.017>.
14. Madamba, L. (1977). Effect of maturity on some biochemical changes during ripening of banana (*Musa sapientum* L. c. v. Lakatan). *Food Chemistry*, 2(3), 177-183. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(77\)90031-0](https://doi.org/10.1016/0308-8146(77)90031-0).
15. Keller, N., Ducamp, M. N., Robert, D., & Keller, V. (2013). Ethylene removal and fresh product storage: A challenge at the frontiers of chemistry. Toward an approach by photocatalytic oxidation. *Chemical Reviews*, 113(7), 5029-5070. <https://doi.org/10.1021/cr900398v>.

Application of chitosan coating combined with CeO₂ synthesized from the solvothermal method in Laba bananas preservation

Pham Tran Bao Tran^{1,2,*}, Nguyen Thi Thuong^{2,3}

¹NTT Institute of International Education, Nguyen Tat Thanh University, Ho Chi Minh City, Viet Nam

²Institute of Technology Application and Sustainable Development, Nguyen Tat Thanh University, Ho Chi Minh City, Viet Nam

³Faculty of Applied Sciences and Technology, Nguyen Tat Thanh University, Ho Chi Minh City, Viet Nam

*ptbtran@ntt.edu.vn

Abstract This study aims to evaluate the preservative effectiveness of chitosan/CeO₂ coating on Laba bananas by the spraying method during storage. The physicochemical changes in browning index, respiration rate, hardness, weight loss, total soluble solids content, and titratable acidity of uncoated bananas and bananas coated with chitosan and chitosan/CeO₂ solutions were evaluated. The results showed that the chitosan/CeO₂ formulation exhibited a better efficacy on enhancing the shelf-life of bananas than the chitosan coating solution by reducing the respiration rate of bananas. The preservation efficiency of chitosan/CeO₂ spray coating was demonstrated by the lowest change in weight loss (16.23%), total soluble solids content (23.70%), and titratable acidity (0.223 % malic acid) after 8 days of storage at 20 °C and 64% RH. The findings of this study confirmed the effectiveness of spraying chitosan/CeO₂ solutions in post-harvest preservation of Laba banana, thereby contributing to improve the economic efficiency of fresh banana industry during business and export activities.

Keywords Laba banana preservation, Chitosan, Solvothermally prepared CeO₂, Spray coating.

