

ẢNH HƯỞNG CỦA LỚP PHỦ CHỨA NHŨ TƯƠNG TINH DẦU SẢ DẠNG NANO VÀ CHITOSAN ĐẾN CHẤT LƯỢNG VÀ THỜI GIAN BẢO QUẢN CHUỐI GIÀ LÙN (*Musa AAA*)

Võ Văn Quốc Bảo^{1*}, Nguyễn Thị Diễm Hương¹, Đào Lê Minh Tuấn¹,
Nguyễn Thị Lộc¹, Trương Hữu Phước², Võ Nguyễn Hải Châu², Lê Lâm Sơn², Lương Vũ Mai Quỳnh³,
Nguyễn Thị Thanh Tịnh³

¹ Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế, Huế, Việt Nam

² Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế, Huế, Việt Nam

³ Trường Đại học Đà Lạt, Đà Lạt, Việt Nam

* Tác giả liên hệ Võ Văn Quốc Bảo <vvqbao@hueuni.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 19-09-2025; Hoàn thành phản biện: 26-10-2025; Ngày chấp nhận đăng: 05-11-2025)

Tóm tắt. Chuối Già lùn (*Musa AAA*) là loại trái cây hô hấp đột biến, có cường độ trao đổi chất cao nên nhanh hư hỏng và giảm chất lượng và thời gian lưu trữ. Nghiên cứu này đánh giá hiệu quả của chế phẩm nano nhũ tương tinh dầu sả kết hợp với chitosan (nano TDS-Chi), một lớp phủ sinh học, nhằm kéo dài thời gian bảo quản. Chế phẩm gồm 0,05% nhũ tương tinh dầu sả dạng nano và 1,0% chitosan, được áp dụng theo ba phương pháp: phun trước thu hoạch (TTH), nhúng sau thu hoạch (STH) và kết hợp cả hai (TTH + STH), so sánh với đối chứng không xử lý. Kết quả cho thấy nano TDS-Chi làm chậm đáng kể các biến đổi sinh lý, sinh hóa của quả chuối sau thu hoạch. Trong đó, nghiệm thức TTH + STH cho hiệu quả cao nhất, kéo dài bảo quản đến 20 ngày ở 25 °C. Các chỉ tiêu chất lượng được cải thiện rõ rệt: tỷ lệ hao hụt khối lượng 8,62%, tổng chất rắn hòa tan đạt cực đại 18,71%, hàm lượng acid hữu cơ duy trì 0,18%, định hô hấp đạt 50,68 mL CO₂·kg⁻¹·h⁻¹, và cường độ sản sinh ethylene 15,73 μl C₂H₄·kg⁻¹·h⁻¹. Kết quả này khẳng định tiềm năng ứng dụng của nano TDS-Chi như một giải pháp bảo quản sinh học thân thiện với môi trường, góp phần giảm tổn thất sau thu hoạch và nâng cao giá trị kinh tế cho sản phẩm chuối Già lùn.

Từ khóa: chitosan, nhũ tương nano, tinh dầu sả, chuối Già lùn

Effect of nano-emulsion coating containing lemongrass essential oil and chitosan on Cavendish banana's (*Musa AAA*) quality and shelf life

Vo Van Quoc Bao^{1*}, Nguyen Thi Diem Huong¹, Dao Le Minh Tuan¹,
Nguyen Thi Loc¹, Truong Huu Phuoc², Vo Nguyen Hai Chau², Le Lam Son², Luong Vu Mai Quynh²,
Nguyen Thi Thanh Tinh²

¹ University of Agriculture and Forestry, Hue University, Hue, Vietnam

² University of Sciences, Hue University, Hue, Vietnam

³ Dalat University, Dalat, Vietnam

* Correspondence to Vo Van Quoc Bao <vvqbao@hueuni.edu.vn>

(Received: 19 September 2025; Revised: 26 October 2025; Accepted: 05 November 2025)

Abstract. Cavendish banana (*Musa AAA*) is a climacteric fruit with high metabolic activity, making it highly perishable and leading to rapid quality deterioration and reduced shelf life under ambient conditions. In this study, a nano-emulsion-based coating composed of lemongrass essential oil and chitosan (nano TDS-Chi) was applied as a bio-preservative to extend postharvest storage life. The formulation consisted of 0.05% lemongrass essential oil nano-emulsion (nano TDS) and 1.0% chitosan (Chi), applied with three methods: pre-harvest spraying (TTH), post-harvest dipping (STH), and a combined treatment (TTH + STH), with untreated fruit as the control. The results demonstrated that nano TDS-Chi significantly delayed postharvest physiological and biochemical processes. Notably, the combined TTH + STH treatment was the most effective, extending the storage life up to 20 days at ambient temperature (25 °C). Key quality indicators included reduced weight loss (8.62%), delayed accumulation of total soluble solids (peak at 18.71%), maintenance of organic acid content (0.18%), delayed respiration peak (50.68 ml CO₂·kg⁻¹·h⁻¹), and moderated ethylene production (15.73 μL C₂H₄·kg⁻¹·h⁻¹). These findings highlight the potential of nano TDS-Chi as an eco-friendly bio-coating for postharvest preservation, offering a sustainable solution to reduce losses and enhance the economic value of Cavendish bananas.

Keywords: chitosan, nanoemulsion, lemongrass essential oil, Cavendish banana

1 Mở đầu

Chuối Già lùn (*Musa AAA*) là một trong những loại cây trồng chủ lực và mang lại giá trị kinh tế cao tại một số vùng của Thành phố Huế, điển hình là khu vực A Lưới. Tuy nhiên, việc kéo dài thời gian bảo quản loại quả này vẫn còn nhiều thách thức do đặc tính hô hấp đột biến, chín nhanh, dễ mất nước và dễ nhiễm bệnh sau thu hoạch [1]. Các phương pháp bảo quản truyền thống như sử dụng hóa chất tổng hợp, xử lý thủ công thường không bền vững, tiềm ẩn nguy cơ ảnh hưởng đến sức khỏe người tiêu dùng, đồng thời làm giảm giá trị thương mại của sản phẩm [2]. Do đó, việc tìm kiếm một giải pháp bảo quản an toàn, hiệu quả và thân thiện với môi trường là rất cần thiết.

Trong bối cảnh đó, việc ứng dụng các vật liệu sinh học có nguồn gốc tự nhiên như tinh dầu sả (*Cymbopogon citratus*) và chitosan đã nhận được sự quan tâm rộng rãi. Tinh dầu sả chứa nhiều hợp chất monotерpen (citral, geraniol, limonene, v.v.) với hoạt tính kháng khuẩn, kháng nấm và chống oxy hóa mạnh, có tiềm năng lớn trong bảo quản nông sản [3, 4]. Tuy nhiên, tinh dầu nguyên chất khó tan trong nước, dễ bay hơi và kém ổn định. Việc tạo nano nhũ tương tinh dầu sả sẽ giúp cải

thiện khả năng phân tán, tăng diện tích bề mặt và hiệu quả kháng vi sinh vật [5, 6].

Chitosan, một polysaccharide sinh học được chiết tách từ vỏ giáp xác, có tác dụng tạo màng bao, giảm thoát hơi nước, hạn chế sự xâm nhập của vi sinh vật và kéo dài thời gian bảo quản nhiều loại trái cây [7–9]. Ngoài ra, tính tương hợp sinh học và khả năng phân hủy tự nhiên của chitosan khiến nó có nhiều ứng dụng trong bảo quản nông sản và thực phẩm. Ở Việt Nam và trên thế giới, việc ứng dụng màng chitosan kết hợp với các dịch chiết hoặc tinh dầu thực vật đã được nghiên cứu rộng rãi. Các công trình này đã thành công trong bảo quản các loại trái cây nhiệt đới như chuối (kết hợp với pectin hoặc chiết xuất lá chùm ngây) [10, 11] xoài [12], việt quất [13] hay trên các loại quả khác như dâu tây và táo [14] cho thấy hiệu quả rõ rệt trong việc giảm hao hụt khối lượng và duy trì chất lượng.

Sự kết hợp nano nhũ tương tinh dầu sả và chitosan có khả năng tạo hiệu ứng đồng vận: lớp màng chitosan giữ ẩm, hạn chế hô hấp, còn tinh dầu sả ở dạng nano tăng cường khả năng kháng khuẩn, kháng nấm giúp kiểm soát quá trình chín và hạn chế hư hỏng [15–17]. Tuy nhiên, các nghiên cứu trong nước chủ yếu mới dừng ở mức đơn lẻ (tinh dầu hoặc chitosan), chưa có nhiều

công bố khoa học về chuối Già lùn, đặc biệt là khi áp dụng xử lý trước và sau thu hoạch. Đây chính là khoảng trống cần được quan tâm. Vì vậy, nghiên cứu này được tiến hành nhằm đánh giá ảnh hưởng của chế phẩm nano nhũ tương tinh dầu sả – chitosan trong bảo quản chuối Già lùn, với ba phương thức: xử lý trước thu hoạch, sau thu hoạch và kết hợp cả hai. Kết quả nghiên cứu sẽ là cơ sở khoa học cho việc ứng dụng các chế phẩm sinh học thân thiện với môi trường trong bảo quản trái cây, góp phần nâng cao giá trị kinh tế của sản phẩm chuối Già lùn, đồng thời thúc đẩy phát triển nông nghiệp bền vững tại vùng miền núi A Lưới, Thành phố Huế.

2 Vật liệu và phương pháp

2.1 Vật liệu

Quả chuối Già lùn (*Musa AAA*) được thu hoạch từ các vườn trồng tại khu vực A Lưới thuộc Thành phố Huế, Việt Nam. Quả được thu hái cẩn thận khi đạt độ chín sinh lý (90–95 ngày sau khi trở hoa), đảm bảo đồng nhất về màu sắc, hình dạng và kích thước, không có vết thương cơ học hay dấu hiệu nhiễm bệnh, theo tiêu chuẩn TCVN 9017:2011 [18]. Sau khi thu hoạch, trái được xử lý sơ bộ, đóng gói trong thùng carton có lỗ thoáng khí và vận chuyển ngay đến phòng thí nghiệm của Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế, để tiến hành nghiên cứu.

Tinh dầu sả (*Cymbopogon citratus*) nguyên chất được chiết xuất từ thân và lá sả bằng phương pháp chưng cất lôi cuốn hơi nước tại Phòng thí nghiệm Công nghệ Thực phẩm, Trường Đại học Nông lâm, Đại học Huế, Việt Nam. Bột chitosan thực phẩm, có độ deacetyl hóa thấp (75–85%), được mua từ hãng Sigma-Aldrich. Tất cả các hóa chất khác sử dụng trong nghiên cứu này đều có nguồn gốc từ các nhà cung cấp có uy tín.

2.2 Phương pháp

Chuẩn bị dung dịch nano nhũ tương tinh dầu sả kết hợp với chitosan

Nano nhũ tương tinh dầu sả (nano TDS) được chuẩn bị theo phương pháp của Mendes [5] và có cải tiến. Bột chitosan được hòa tan trong dung dịch acid acetic 1% (w/v), khuấy từ trong 2 giờ để tạo dung dịch đồng nhất, sau đó lọc bỏ phần không tan. Nồng độ chitosan sử dụng trong nghiên cứu này là 1,0% (w/v).

Chế phẩm màng phủ được tạo ra bằng cách thêm từ từ dung dịch TDS (0,05%, v/v) vào dung dịch chitosan đã chuẩn bị. Hỗn hợp được khuấy trong 15 phút bằng thiết bị D-160 (DLAB SCIENTIFIC, USA) chạy ở tốc độ 12.000 vòng/phút ở nhiệt độ phòng. Hỗn hợp cuối cùng thu được là dung dịch nano nhũ tương tinh dầu sả – chitosan (nano TDS-Chi), dùng cho các thí nghiệm xử lý chuối.

Thiết kế thí nghiệm và phương pháp xử lý

Xử lý trước thu hoạch (TTH): Trong tuần cuối trước khi thu hoạch, chế phẩm nano TDS-Chi được phun ướt đều lên 15 buồng chuối trên cây, với tần suất 2 ngày/lần, cho đến khi buồng quả được bao phủ hoàn toàn. Sau thu hoạch, các nải chuối được tách ra, chọn lọc theo TCVN 9017:2011, cho vào thùng carton có kích thước 45 × 35 × 25 cm. Mỗi thùng được đục 12 lỗ thông khí tròn (đường kính 2,5 cm), phân bố đều ở hai mặt bên và mặt nắp, với tổng diện tích lỗ chiếm khoảng 18% diện tích vùng thông khí của thùng. Các mẫu được bảo quản trong phòng thí nghiệm ở 25 ± 2 °C và độ ẩm 85 ± 5%.

Xử lý sau thu hoạch (STH): Thực hiện trên 15 buồng chuối không xử lý TTH. Sau khi tách nải và cũng lựa chọn theo tiêu chuẩn TCVN 9017:2011, quả được nhúng vào dung dịch nano TDS-Chi trong 3 phút, để ráo và khô tự nhiên trong khoảng 40 phút ở nhiệt độ phòng trước khi

tiến hành các bước theo dõi tiếp theo như nghiệm thức TTH [19, 20].

Xử lý kết hợp (TTH + STH): 15 buồng chuối được xử lý tương tự như phương pháp TTH. Sau khi thu hoạch, chuối được tách nải và tiếp tục được nhúng vào dung dịch chế phẩm trong 3 phút, sau đó để ráo trong 40 phút, rồi chuyển vào bảo quản cùng điều kiện như hai nghiệm thức trên.

Các mẫu đối chứng (ĐC) không được xử lý với nano TDS-Chi, được theo dõi song song và phân tích các chỉ tiêu chất lượng định kỳ 2 ngày/lần, cho đến khi quả chuối mất giá trị thương mại (giai đoạn chín 7 theo thang màu chuẩn và tỷ lệ hao hụt khối lượng vượt quá 10%), nhằm làm cơ sở so sánh với các nghiệm thức xử lý [21].

Xác định một số chỉ tiêu sinh lý, sinh hóa

Hao hụt khối lượng tự nhiên (%) được xác định bằng cách cân quả trước khi bảo quản và sau mỗi 2 ngày theo dõi bằng cân phân tích kỹ thuật số (Ohaus, USA).

Hàm lượng chất rắn hòa tan ($^{\circ}\text{Bx}$) được xác định bằng khúc xạ kế cầm tay (Atago Co. Ltd., Tokyo, Nhật Bản).

Tỷ lệ hư hỏng (%) được xác định bằng cách ước tính diện tích bề mặt quả bị hư hỏng so với tổng diện tích vỏ quả.

Hàm lượng acid tổng số (%) được xác định theo phương pháp chuẩn AOAC.

Cường độ hô hấp ($\text{ml CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) được xác định bằng cách đo nồng độ CO_2 phát sinh trong quá trình bảo quản. Cường độ sản sinh ethylene ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) được xác định theo phương pháp Barker [22] bằng thiết bị Dual Gasanalyser 250 (Nhật Bản).

Tất cả các phép đo được thực hiện với 3 lần lặp lại cho mỗi công thức thí nghiệm.

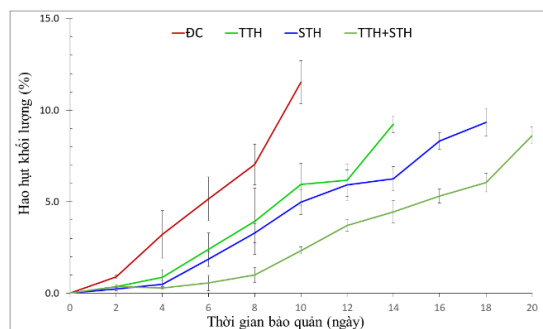
2.2.4. Xử lý số liệu

Các số liệu thí nghiệm được xử lý trên phần mềm SPSS 20 theo phương pháp phân tích phương sai ANOVA để xác định sự sai khác giữa các nghiệm thức và so sánh cặp trung bình với kiểm định Duncan ở mức ý nghĩa thống kê $p < 0,05$.

3 Kết quả và thảo luận

3.1 Ảnh hưởng của nano TDS-Chi đến sự hao hụt khối lượng của quả chuối

Sự hao hụt khối lượng sau thu hoạch là kết quả tổng hợp của nhiều quá trình, bao gồm mất nước tự nhiên, hô hấp và sự phân hủy do vi sinh vật [21]. Đối với hầu hết trái cây tươi, mức hao hụt 5–10% thường dẫn đến tình trạng héo hoặc nhăn nheo, làm giảm giá trị thương phẩm [23]. Kết quả trình bày trên Hình 1 cho thấy sự hao hụt khối lượng tăng dần theo thời gian bảo quản ở tất cả các nghiệm thức. Mẫu đối chứng (ĐC) có mức hao hụt cao nhất (11,52%) sau 10 ngày, kèm theo tình trạng mất nước mạnh và hư hỏng rõ rệt. Các nghiệm thức xử lý bằng nano TDS-Chi đều giúp giảm đáng kể tỷ lệ hao hụt ($p < 0,05$). Trong đó, công thức kết hợp trước và sau thu hoạch (TTH + STH) duy trì hiệu quả tốt nhất, với tỷ lệ hao hụt chỉ 6,04% sau 18 ngày và 8,62% sau 20 ngày theo dõi, chứng tỏ khả năng kiểm soát quá trình mất nước vượt trội so với xử lý đơn lẻ.



Hình 1. Ảnh hưởng của nano TDS-Chi đến sự hao hụt khối lượng

Cơ chế tác động có thể lý giải như sau: lớp chitosan hình thành màng bán thấm trên bề mặt quả, giúp hạn chế khuếch tán hơi nước, đồng thời điều chỉnh thành phần khí quyển vi mô quanh quả (tăng CO₂, giảm O₂), từ đó giảm tốc độ hô hấp. Bên cạnh đó, tinh dầu sả được nano hóa tăng cường khả năng phân tán và thẩm thấu vào lớp màng chitosan, trong đó citral đóng vai trò chính trong việc ức chế vi sinh vật gây thối hỏng. Điều này góp phần hạn chế các quá trình phân hủy sinh học, vốn cũng là nguyên nhân dẫn đến sự hao hụt khối lượng. Việc xử lý trước thu hoạch tạo lớp bảo vệ nền tảng trên quả, giảm nhiễm khuẩn và tổn thương cơ học, trong khi xử lý sau thu hoạch củng cố lớp màng bao đồng nhất hơn. Nhờ đó, phương pháp TTH + STH đạt hiệu quả bảo quản tối ưu cả về mặt sinh lý (thoát hơi nước, hô hấp) và sinh học (vi sinh vật).

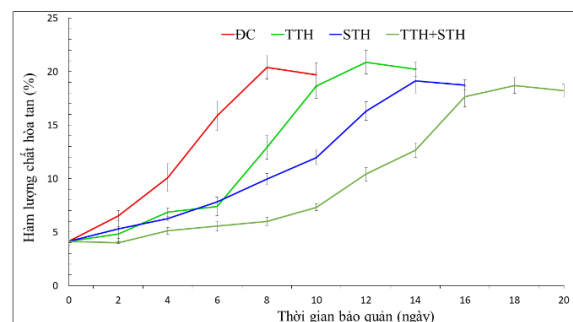
Khi so sánh với các nghiên cứu trước, tỷ lệ hao hụt ở nghiệm thức TTH + STH thấp hơn đáng kể so với màng pectin/chitosan và pectin/alginate (8,45 và 8,97% sau 18 ngày) [10]. Tương tự, Nath và cộng sự công bố rằng chuối xử lý bằng acid salicylic (2 mM) có hao hụt khối lượng 9,57% sau 12 ngày và 13,43% sau 15 ngày [20]. Các so sánh này chứng minh nano TDS-Chi có khả năng hạn chế mất nước hiệu quả hơn so với các biện pháp đã công bố.

3.2 Ảnh hưởng của nano TDS-Chi đến sự thay đổi hàm lượng chất hòa tan

Hàm lượng chất hòa tan tổng số là một chỉ tiêu quan trọng phản ánh quá trình thủy phân tinh bột thành đường và các hợp chất hòa tan khác trong quá trình chín của quả chuối [1]. Kết quả trên Hình 2 cho thấy hàm lượng chất hòa tan tổng số của quả tăng dần theo thời gian bảo quản ở tất cả các nghiệm thức, sau đó giảm nhẹ khi quả bước vào giai đoạn quá chín.

Mẫu ĐC có sự biến động mạnh nhất, đạt giá trị cực đại 20,40% vào ngày thứ 8, sau đó giảm xuống còn 19,72% ở ngày thứ 10. Điều này phản

ánh hiện tượng chín – già sớm, làm giảm nhanh chất lượng thương phẩm. Ngược lại, các nghiệm thức xử lý bằng nano TDS-Chi (TTH, STH, TTH + STH) cho thấy quá trình tích lũy hàm lượng chất hòa tan chậm và ổn định hơn ($p < 0,05$). Đặc biệt, nghiệm thức TTH + STH cho hiệu quả vượt trội, với tốc độ tăng chậm nhất và đạt đỉnh muộn hơn (18,71% vào ngày thứ 18), cho thấy quá trình chín kéo dài rõ rệt so với các nghiệm thức khác.



Hình 2. Ảnh hưởng của nano TDS-Chi đến hàm lượng chất hòa tan

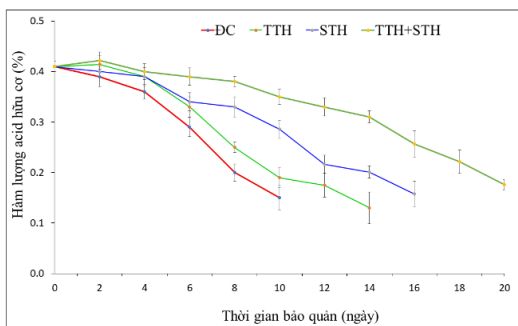
Diễn biến này phù hợp với quy luật sinh lý của quả chuối sau thu hoạch khi hệ enzyme (amylase và protopectinase) phân giải tinh bột và pectin thành đường đơn và các hợp chất hòa tan [1]. Kết quả nghiên cứu này phù hợp với xu hướng biến đổi chất hòa tan tổng số đã được công bố trong các nghiên cứu trước. Biswas và Nair cho thấy việc xử lý chuối Robusta (*Musa AAA*) trước thu hoạch bằng chitosan 1% làm cho hàm lượng chất hòa tan tăng dần từ 5,2 lên 18,4% sau 18 ngày bảo quản [24]. Trong nghiên cứu của Gomez, chuối Nendran phủ màng polyethylene co giãn có hàm lượng chất hòa tan tăng từ 4,5 lên 19,3% sau 21 ngày và chậm hơn so với đối chứng [25]. Gần đây, Hoàng Quang Bình và cộng sự cũng khẳng định màng chitosan kết hợp với tinh dầu ức chế quá trình tăng chất hòa tan tổng số ở trái cây nhiệt đới [17].

Như vậy, việc áp dụng chế phẩm tạo màng nano TDS-Chi, dù thông qua phun trước thu hoạch hay nhúng sau thu hoạch, đều góp phần ức chế quá trình gia tăng hàm lượng chất hòa tan,

qua đó kéo dài thời gian bảo quản và duy trì chất lượng của quả chuối.

3.3 Ảnh hưởng của nano TDS-Chi đến sự thay đổi acid tổng số

Hàm lượng acid hữu cơ tổng số là một chỉ số quan trọng, phản ánh quá trình hô hấp của quả chuối sau thu hoạch bởi vì các acid này đóng vai trò là cơ chất chính trong quá trình sản xuất năng lượng [17]. Kết quả trên Hình 3 cho thấy đều có xu hướng giảm hàm lượng acid ở tất cả các nghiệm thức, nhưng tốc độ giảm có sự khác biệt rõ rệt. Mẫu ĐC cho thấy tốc độ giảm nhanh nhất, chỉ còn 0,20% vào ngày thứ 8. Ngược lại, mẫu xử lý kết hợp TTH + STH duy trì tốc độ giảm chậm nhất, giữ hàm lượng acid ở mức 0,18% sau 20 ngày bảo quản, chứng tỏ hiệu quả vượt trội trong việc kiểm soát các quá trình sinh lý nội tại của quả.



Hình 3. Ảnh hưởng của nano TDS-Chi đến hàm lượng acid hữu cơ

Các mẫu xử lý đơn lẻ (TTH và STH) cũng cho thấy hiệu quả bảo quản nhất định nhưng không bằng mẫu xử lý kết hợp. Điều này chứng tỏ rằng phương pháp xử lý kết hợp, bao gồm phun chế phẩm nano TDS-Chi trước thu hoạch và nhúng quả sau thu hoạch, là hiệu quả nhất trong việc duy trì hàm lượng acid hữu cơ, từ đó kéo dài thời gian bảo quản quả chuối. Kết quả này hoàn toàn tương đồng với các kết quả nghiên cứu trước đây. Sự kiểm soát tốc độ suy giảm acid hữu cơ trong nghiên cứu của chúng tôi hoàn toàn phù hợp với các quy luật sinh lý sau thu hoạch khi

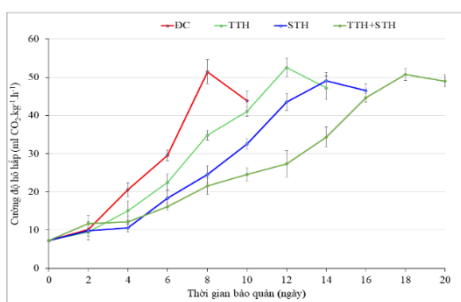
acid hữu cơ được sử dụng làm cơ chất hô hấp [1, 26]. Tuy nhiên, hiệu quả ức chế quá trình này đã được nâng cao nhờ lớp phủ sinh học. Cụ thể, các nghiên cứu về lớp phủ sinh học trên trái cây nhiệt đới cũng khẳng định hiệu quả của sự kết hợp này. Popescu và cộng sự cho rằng màng bao chitosan kết hợp với tinh dầu đã giúp duy trì hàm lượng acid ở đầu tây và táo trong suốt quá trình bảo quản lạnh [14]. Tương tự, Zhang và cộng sự đã tổng kết rằng các hợp chất acid hữu cơ ngoại sinh có vai trò quan trọng trong việc duy trì chất lượng sau thu hoạch, cho thấy sự kiểm soát quá trình trao đổi chất này là chìa khóa để kéo dài tuổi thọ sản phẩm [26]. Sự phù hợp này củng cố luận điểm cho rằng phức hợp nano TDS-Chi đã tạo ra một môi trường khí quyển được điều chỉnh và một hàng rào vật lý, làm giảm cường độ hô hấp và gián tiếp bảo tồn hàm lượng acid, qua đó kéo dài đáng kể thời gian bảo quản quả chuối Già lùn.

3.4 Ảnh hưởng của nano TDS-Chi đến sự biến đổi cường độ hô hấp

Cường độ hô hấp của quả chuối là một chỉ số sinh lý quan trọng, phản ánh tốc độ trao đổi chất và trực tiếp ảnh hưởng đến thời gian bảo quản. Đồ thị trên Hình 4 cho thấy rõ ràng tác động của các phương pháp xử lý lên quá trình này. Mẫu TTH + STH có hiệu quả duy trì tính ổn định nhất và đạt đỉnh khoảng 50,68 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹ sau 18 ngày; theo sau đó là STH và TTH. Mẫu không xử lý cho thấy cường độ hô hấp tăng một cách đột ngột. Giá trị hô hấp tăng từ 7,25 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹ lên đến đỉnh điểm 51,42 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹ chỉ sau 8 ngày, sau đó giảm dần khi quả bắt đầu quá trình suy thoái.

Các kết quả này tương đồng với các kết quả nghiên cứu gần đây về việc sử dụng chitosan và các chế phẩm bảo quản khác nhau cho quả chuối. Wantat và cộng sự đã chứng minh rằng lớp phủ nanochitosan kết hợp với montmorillonite có thể kéo dài thời gian bảo quản của quả chuối 'Hom

Thong' bằng cách giảm cường độ hô hấp và hạn chế sự phát triển của vi sinh vật [27]. Biswas và Nair cũng cho thấy việc xử lý chuối (*Musa AAA Robusta*) trước khi thu hoạch đã có hiệu quả trong việc giảm cường độ hô hấp và cải thiện khả năng lưu trữ [24]. Mới đây, Yan cũng công bố công trình cải tiến màng bao gồm chitosan, ethylen glycol và tinh dầu để hạn chế quá trình chín của chuối sau thu hoạch (*Musa acuminata* L. AAA, cv. cavendish) nhờ tác động ức chế hô hấp [28]. Tại Việt Nam, Ngô Thị Minh Phương và cộng sự cũng đồng quan điểm khi cho rằng việc bảo quản chuối bằng màng pectin kết hợp với chitosan có thể giảm cường độ hô hấp và kéo dài thời gian bảo quản quả chuối [10]. Do vậy, có thể khẳng định rằng chế phẩm tạo màng nano TDS-Chi mang lại hiệu quả rõ rệt trong việc kiểm soát cường độ hô hấp của quả chuối, trong đó phương pháp xử lý kết hợp (TTH + STH) có ưu thế vượt trội nhất.



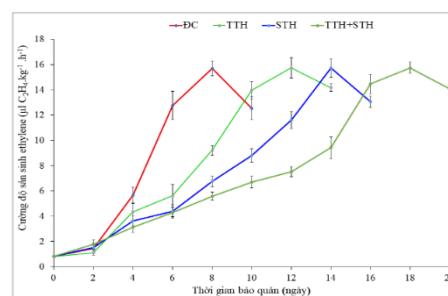
Hình 4. Ảnh hưởng của nano TDS-Chi đến cường độ hô hấp

3.5 Ảnh hưởng của nano TDS-Chi đến sự biến đổi cường độ sản sinh ethylene

Ethylene là một phytohormone thiết yếu, đóng vai trò là tác nhân khởi đầu và điều hòa quá trình chín cũng như lão hóa của quả [29]. Kết quả từ Hình 5 cho thấy rõ ràng tác động của các phương pháp xử lý trong việc kiểm soát sự sản sinh hormone này, cũng như mức độ và thời điểm đạt đỉnh có sự khác biệt rõ rệt.

Ở mẫu ĐC, tốc độ sản sinh ethylene tăng rất nhanh, đạt giá trị cực đại 15,69 µL

C₂H₄·kg⁻¹·h⁻¹ vào ngày thứ 8, sau đó giảm xuống 12,54 µL C₂H₄·kg⁻¹·h⁻¹ ở ngày thứ 10, phản ánh hiện tượng chín sớm và suy giảm nhanh chất lượng. Mẫu xử lý TTH và STH có xu hướng tăng chậm hơn, đạt đỉnh muộn hơn (ngày thứ 12–14) với giá trị khoảng 15,7 µL C₂H₄·kg⁻¹·h⁻¹. Đặc biệt, nghiệm thức kết hợp TTH + STH có tốc độ gia tăng lượng ethylene chậm nhất, đạt đỉnh muộn vào ngày thứ 18 với 15,73 µL C₂H₄·kg⁻¹·h⁻¹ trước khi giảm nhẹ. Điều này chứng tỏ rằng lớp phủ nano TDS-Chi có hiệu quả trong việc điều chỉnh sinh lý quả, ức chế quá trình sinh tổng hợp ethylene, từ đó kéo dài thời gian chín và bảo quản. Cơ chế này có thể là do màng chitosan bán thấm làm giảm sự khuếch tán khí, kết hợp với khả năng kháng khuẩn, kháng oxy hóa của tinh dầu sả, giúp duy trì cân bằng khí quyển vi mô quanh quả và hạn chế quá trình lão hóa. Kết quả này tương đồng với các nghiên cứu trước đây [17, 30–32]. Những nghiên cứu này đều chỉ ra rằng việc sử dụng chitosan, tinh dầu thực vật và nano nhũ tương tinh dầu trong bảo quản sau thu hoạch có thể giảm cường độ sinh ethylene, kéo dài thời gian bảo quản và duy trì chất lượng quả. Từ những nhận định trên có thể khẳng định tính khả thi và hiệu quả của việc ứng dụng chế phẩm nano TDS-Chi trong bảo quản quả chuối, góp phần giảm tổn thất sau thu hoạch và đáp ứng nhu cầu thị trường.



Hình 5. Ảnh hưởng của nano TDS-Chi đến cường độ sản sinh ethylene

4 Kết luận

Nghiên cứu này đã chứng minh hiệu quả của chế phẩm nano nhũ tương tinh dầu sả kết hợp với chitosan trong việc duy trì chất lượng và kéo dài thời gian bảo quản quả chuối Già lùn ở 25 ± 2 °C. Trong các nghiệm thức, xử lý kết hợp trước và sau thu hoạch cho kết quả vượt trội hơn hẳn so với các phương pháp xử lý đơn lẻ. Phương pháp này đã ức chế đáng kể các quá trình sinh lý chủ yếu của quả, thể hiện qua việc giảm tỷ lệ hao hụt khối lượng, kiểm soát tốc độ gia tăng hàm lượng chất rắn hòa tan, cũng như trì hoãn đỉnh hô hấp và sự sản sinh ethylene đến 20 ngày bảo quản. Những kết quả này khẳng định tính khả thi và hiệu quả của việc ứng dụng chế phẩm nano TDS-Chi như một giải pháp bảo quản sinh học thân thiện với môi trường, góp phần duy trì chất lượng, kéo dài thời gian bảo quản quả tươi và giảm thiểu tổn thất sau thu hoạch.

Thông tin tài trợ

Công trình này được thực hiện với sự tài trợ kinh phí từ đề tài Khoa học và Công nghệ cấp Bộ của Bộ Giáo dục và Đào tạo, mã số B2023-DHH-21 và nhóm Nghiên cứu tiêu biểu Đại học Huế, mã số NCTB.DHH.2025.15.

Tài liệu tham khảo

1. Valero D, Serrano M. *Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality* (1st ed.). Boca Raton: CRC press; 2010.
2. Dong H, Xu Y, Zhang Q, Li H, Chen L. Activity and safety evaluation of natural preservatives. *Food Research International*. 2024;190:114548.
3. Shaaban HA. Essential oil as antimicrobial agents: Efficacy, stability, and safety issues for food application. *Essential oils-bioactive compounds, new perspectives and applications*. IntechOpen; 2020.
4. Hiền TT, Quỳnh NNT, Ngân TTK, Quyên NTC. Khảo sát sự ảnh hưởng của các giá trị pH khác nhau lên độ bền tinh dầu sả (*Cymbopogon citratus*). *Journal of Science and Technology*. 2020; 3(1):57-62.
5. Mendes JF, Martins HHA, Otoni CG, Santana NA, Silva RCS, Da Silva AG, et al. Chemical composition and antibacterial activity of *Eugenia brejoensis* essential oil nanoemulsions against *Pseudomonas fluorescens*. *LWT*. 2018;93:659-64.
6. Pathania R, Kaushik R, Khan MA. Essential oil nanoemulsions and their antimicrobial and food applications. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*. 2018;6(3):626-43.
7. Vi NT, Hương TNL. Các phương pháp tạo màng bảo quản trái cây họ cam quýt. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*. 2021;57:136-42.
8. Bao V-VQ, Vương LD, Waché Y. Synthesis of chitosan-silver nanoparticles with antifungal properties on bamboo straws. *Nanomaterials and Energy*. 2021;10(2):111-7.
9. de Azevedo VVC, de Melo Costa ACF. 5. Quitina e Quitosana: aplicações como biomateriais. *Revista eletrônica de Materiais e processos*. 2007;2(3).
10. Phương NTM, Rachtanapun P, Quyên ĐTM, Xô TT. Postharvest preservation of banana fruits using pectin-chitosan and pectin-alginate coatings. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ-Đại học Đà Nẵng*. 2017:55-60.
11. Champa W, Weerasooriya AD. A systematic review on plant-based edible coatings for quality improvement and extended postharvest life of fresh fruits and vegetables. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*. 2025:177-98.
12. Thương NT, Trân PTB. Ảnh hưởng của quá trình tiền xử lý và phủ màng bằng chitosan đến hiệu quả bảo quản Xoài Tứ quý sau thu hoạch. *Journal of Science and Technology*. 2024;7(1):73-81.
13. de Oliveira ÍP, Ribeiro AdR, Mello-Farias P, Malgarim MB, Galvão Machado MR, Pérez Lamela CS. Biodegradable coatings on blueberries postharvest conservation refrigerated in a modified atmosphere. *Journal of Experimental Agriculture International*. 2018;20(4):1-11.
14. Popescu P-A, Palade LM, Nicolae I-C, Popa EE, Mîteluț AC, Drăghici MC, et al. Chitosan-Based Edible Coatings Containing Essential Oils to Preserve the Shelf Life and Postharvest Quality Parameters of Organic Strawberries and Apples during Cold Storage. *Foods*. 2022;11(21):3317.

15. Cesca RS, Fonseca GG, Paz MFd, Cortez-Vega WR. Advances and perspectives on the application of essential oils in food packaging films, coatings, and nanoencapsulated materials. *Bragantia*. 2024; 83:e20230132.
16. Al Mahmud MZ, Mobarak MH, Hossain N. Emerging trends in biomaterials for sustainable food packaging: A comprehensive review. *Heliyon*. 2024;10(1).
17. Bình HQ, Quang T, Ngân TNT. Ứng dụng công nghệ bao màng trong bảo quản trái cây nhiệt đới. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*. 2022;58(3):132-48.
18. Bình CT, Hồng ĐTT, Cường NC. Nghiên cứu đa dạng sinh học nấm men nội sinh phân lập trên chuỗi tiêu hồng *Musa sapientum* L. tại khu vực Gia Lâm, Hà Nội. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ nhiệt đới*. 2025(11):69-78.
19. Bao V-VQ, Vuong LD, Luan LV. Biomimetic synthesis of silver nanoparticles for preparing preservative solutions for mandarins (*Citrus deliciosa* Tenore). *Nano Life*. 2018; 8(01):1850003.
20. Aparna NS, Geetha LP. Biochemical and physiological changes during storage of banana cv Nendran as influenced by postharvest treatments. 2021.
21. Lufu R, Ambaw A, Opara UL. Water loss of fresh fruit: Influencing pre-harvest, harvest and postharvest factors. *Scientia Horticulturae*. 2020; 272:109519.
22. Barker S, Elderfield H. Foraminiferal calcification response to glacial-interglacial changes in atmospheric CO₂. *Science*. 2002;297(5582):833-6.
23. Gidado M, Gunny AAN, Gopinath SC, Ali A, Wongs-Aree C, Salleh NHM. Challenges of postharvest water loss in fruits: Mechanisms, influencing factors, and effective control strategies—A comprehensive review. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2024;17:101249.
24. Biswas PK, Nair CJ. Effect of Pre-harvest Treatments on Storage and Quality of Banana cv. Robusta. *Asian Journal of Science and Applied Technology*. 2012;1(1):16-9.
25. Gomez S, Paul AA, Kiribhaga S, Joseph M. Shelf life and quality of banana cultivar Nendran as influenced by shrink-wrap packaging and storage temperature. *Plant Science Today*. 2023;10(2):152-9.
26. Zhang W, Jiang Y, Zhang Z. The role of different natural organic acids in postharvest fruit quality management and its mechanism. *Food Frontiers*. 2023;4(3):1127-43.
27. Wantat A, Seraypheap K, Rojsitthisak P. Effect of chitosan coatings supplemented with chitosan-montmorillonite nanocomposites on postharvest quality of 'Hom Thong' banana fruit. *Food Chemistry*. 2022;374:131731.
28. Yan X, Meng F, Wigati LP, Van TT, Phuong NTH, Koga A, et al. Improvement of cross-linked films based on chitosan/diepoxy-poly (ethylene glycol) incorporating trans-cinnamaldehyde essential oil: Preparation, properties, and application in banana storage. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024;263:130299.
29. Barry CS, Giovannoni JJ. Ethylene and fruit ripening. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2007;26(2):143-59.
30. Abdalla G, Mussagy CU, Brasil GSAP, Scontri M, da Silva Sasaki JC, Su Y, et al. Eco-sustainable coatings based on chitosan, pectin, and lemon essential oil nanoemulsion and their effect on strawberry preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023;249:126016.
31. Hou C-Y, Hazeena SH, Hsieh S-L, Li B-H, Chen M-H, Wang P-Y, et al. Effect of D-limonene nanoemulsion edible film on banana (*Musa sapientum* Linn.) Post-Harvest Preservation. *Molecules*. 2022;27(19):6157.
32. Chaudhary S, Kumar S, Kumar V, Sharma R. Chitosan nanoemulsions as advanced edible coatings for fruits and vegetables: Composition, fabrication and developments in last decade. *International journal of biological macromolecules*. 2020;152:154-70.