

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MÀNG BAO SINH HỌC SODIUM ALGinate - XANTHAN GUM ĐẾN SỰ THAY ĐỔI MỘT SỐ CHỈ TIÊU CHẤT LƯỢNG QUẢ CHUỐI XIÊM (*Musa paradisiaca* var. Awak) SAU THU HOẠCH

Nguyễn Minh Trọng¹, Nguyễn Lê Yến Nhi¹, Trần Minh Phúc¹,
Phạm Trọng Cầu¹, Nguyễn Trung Trục^{1,*}

¹ Khoa Sinh hoá - Thực phẩm, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

*Email: trucnt@vlute.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của màng bao ăn được kết hợp xanthan gum (XG) và sodium alginate (SA) đến chất lượng quả chuối xiêm (*Musa paradisiaca* var. Awak) sau thu hoạch. Quả được nhúng trong dung dịch màng bao trong 15 giây và bảo quản ở $30 \pm 2^\circ\text{C}$, độ ẩm tương đối $75 \pm 5\%$ với năm nghiệm thức gồm: Đối chứng (nhúng nước cất), 0,25%SA - 0,2%XG, 0,25%SA - 0,4%XG, 0,50%SA - 0,2%XG và 0,50%SA - 0,4%XG. Các chỉ tiêu màu sắc vỏ, hàm lượng chlorophyll, hao hụt khối lượng, độ cứng, hàm lượng tổng chất khô hòa tan (TSS), hàm lượng axit tổng số (TA), hàm lượng phenolic tổng số (TPC), vitamin C và tỷ lệ nhiễm bệnh được theo dõi trong quá trình bảo quản. Kết quả cho thấy, tất cả các nghiệm thức bao màng đều làm chậm quá trình chín và duy trì chất lượng quả tốt hơn so với đối chứng. Trong đó, nghiệm thức 0,50%SA - 0,2%XG cho hiệu quả bảo quản cao nhất với tỷ lệ nhiễm bệnh thấp hơn 50%, hao hụt khối lượng thấp hơn (7,00%), độ cứng cao hơn (4,14 N), đồng thời duy trì hàm lượng chlorophyll (0,0206 mg/g), TSS ($17,83 \pm 0,29^\circ\text{Bx}$), TA ($0,36 \pm 0,02\%$), TPC (201,28 mg GAE/100 g) và vitamin C (218,99 mg/100 g) sau 6 ngày bảo quản. Kết quả cho thấy, màng bao SA - XG là giải pháp tiềm năng giúp kéo dài thời gian bảo quản và duy trì chất lượng chuối xiêm sau thu hoạch.

Từ khóa: Quả chuối, xanthan gum, sau thu hoạch, sodium alginate.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Chuối (*Musa* spp.) là một trong những loại cây ăn quả nhiệt đới quan trọng, với sản lượng toàn cầu vượt 153 triệu tấn mỗi năm [1]. Không chỉ có giá trị kinh tế cao, chuối còn là nguồn cung cấp vitamin B6, vitamin C, kali, magie, chất xơ và nhiều hợp chất chống oxy hóa có lợi cho sức khỏe [2]. Theo FAO (2023) [1], chuối đạt kim ngạch xuất khẩu trên 12 tỷ USD, với các quốc gia xuất khẩu lớn như: Ấn Độ, Ecuador, Philippines và Colombia. Tại Việt Nam, chuối được trồng rộng rãi với diện tích trên 150.000 ha, sản lượng đạt khoảng 2,14 triệu tấn/năm [3]. Tuy nhiên, chuối là loại quả hô hấp đột biến, có cường độ hô hấp và tốc độ sinh tổng hợp ethylene cao sau thu hoạch, làm thúc đẩy quá trình chín, mềm hóa mô quả và rút ngắn thời gian bảo quản. Ở điều kiện nhiệt độ phòng, chuối thường chỉ duy trì chất lượng thương phẩm trong khoảng 4 - 6 ngày trước khi xuất hiện hiện tượng vàng hóa và hóa

nâu vỏ, hao hụt khối lượng, giảm độ cứng và gia tăng nhiễm bệnh, gây tổn thất đáng kể về chất lượng và giá trị kinh tế [4].

Hiện nay, nhiều phương pháp đã được áp dụng nhằm kéo dài thời gian bảo quản chuối sau thu hoạch như: Bảo quản lạnh, xử lý nhiệt, chiếu xạ, sử dụng 1-methylcyclopropene (1-MCP), bao gói khí quyển biến đổi (MAP) và xử lý hóa chất kháng nấm [5]. Mặc dù có khả năng làm chậm quá trình chín và hạn chế sự phát triển của vi sinh vật, các phương pháp này vẫn còn những hạn chế như: Chi phí đầu tư cao, yêu cầu thiết bị chuyên dụng, khó áp dụng ở quy mô nông hộ hoặc tiềm ẩn nguy cơ tồn dư hóa chất. Trong những năm gần đây, màng bao ăn được được xem là một giải pháp bảo quản đầy triển vọng nhờ chi phí thấp, dễ áp dụng, thân thiện với môi trường và có khả năng điều hòa trao đổi khí, giảm mất nước, hạn chế sự xâm nhập của vi sinh vật và làm chậm quá trình chín của quả [6]. Do đó, các polyme sinh

học có nguồn gốc từ polysaccharide được ứng dụng rộng rãi trong bảo quản rau quả sau thu hoạch nhờ tính ăn được, khả năng phân hủy sinh học và tính tương thích sinh học cao [7]. Trong số đó, xanthan gum (XG) và sodium alginate (SA) là hai polysaccharide tạo màng được sử dụng phổ biến trong bảo quản thực phẩm. XG có khả năng tạo màng bán thấm, ổn định hệ và hạn chế mất nước, trong khi SA có đặc tính tạo màng tốt, độ bền cơ học cao và khả năng thấm chọn lọc đối với O_2 và CO_2 [8 - 12]. Tuy nhiên, khi sử dụng riêng lẻ, mỗi loại vật liệu đều tồn tại những hạn chế nhất định về tính chất cơ lý và khả năng cản ẩm. Vì vậy, xu hướng hiện nay là phối hợp nhiều loại polyme nhằm cải thiện đặc tính chức năng của màng bao và nâng cao hiệu quả bảo quản.

Các nghiên cứu trước đây đã chứng minh hiệu quả của XG và SA trên nhiều loại trái cây như đu đủ [13], đào [14], dâu tây [15] và nho [16]. Tuy nhiên, các nghiên cứu về hệ màng phối hợp SA - XG trên quả chuối, đặc biệt trong việc tối ưu hóa tỷ lệ phối trộn để nâng cao hiệu quả bảo quản sau thu hoạch vẫn còn hạn chế. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của các tỷ lệ phối trộn SA - XG đến sự thay đổi chất lượng và khả năng kéo dài thời gian bảo quản của quả chuối xiêm sau thu hoạch, góp phần phát triển giải pháp bảo quản an toàn, chi phí thấp và có tiềm năng ứng dụng trong thực tiễn sản xuất.

2. NGUYÊN VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên vật liệu

2.1.1. Quả chuối xiêm

Quả chuối xiêm (*Musa paradisiaca* var. *Awak*) được thu hoạch tại xã Long Hồ, tỉnh Vĩnh Long ở giai đoạn già sinh lý theo mô tả của Lobo và Montero-Calderón (2020) [17]. Quả được thu hoạch khoảng 100 ± 5 ngày sau khi trổ buồng, khi đã phát triển hoàn chỉnh, vai quả nở đầy, các cạnh chuyển từ góc cạnh sang tròn, vỏ có màu xanh đồng đều và mũ đầu cuống trong, ít nhót. Trước khi bố trí thí nghiệm, các quả được tuyển chọn đồng đều về độ già và kích thước, không có vết dập, nứt, sâu bệnh hoặc dị tật. Các chỉ tiêu ban đầu của nguyên liệu gồm khối lượng $165,6 \pm 3,4$ g, chiều dài $13,8 \pm 0,9$ cm, đường kính $3,52 \pm 0,18$ cm, độ cứng $34,48 \pm 0,37$ N và tổng chất rắn hòa tan $3,33 \pm 0,08^\circ\text{Bx}$.

Sau thu hoạch, chuối được vận chuyển đến Phòng thí nghiệm thuộc Khoa Sinh hóa - Thực phẩm, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long trong khoảng 1 giờ bằng thùng carton có lót vật liệu xốp nhằm hạn chế tổn thương cơ học. Trong quá trình vận chuyển, nhiệt độ và độ ẩm tương đối được duy trì ở mức $30 \pm 2^\circ\text{C}$ và $75 \pm 5\%$. Sau khi đưa về phòng thí nghiệm, các quả được kiểm tra lần cuối và loại bỏ những mẫu có dấu hiệu hư hỏng cơ học hoặc nhiễm bệnh trước khi tiến hành xử lý và bố trí thí nghiệm.

2.1.2. Hoá chất và thiết bị nghiên cứu

Các hóa chất sử dụng trong nghiên cứu gồm: SA (Fisher Chemical, Anh), XG (Ingredia, Việt Nam), calcium chloride (CaCl_2), Folin-Ciocalteu (Trung Quốc), axit gallic (Trung Quốc), sodium carbonate (Na_2CO_3 , Việt Nam), axit metaphosphoric (HPO_3 , Trung Quốc), 2,6-dichlorophenol-indophenol (DCPIP, Himedia), 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH, Himedia), thiourea (Trung Quốc), axit sulfuric (H_2SO_4 , Việt Nam), acetone (Việt Nam), natri hydroxide (NaOH, Việt Nam),...

Các chỉ tiêu chất lượng được phân tích bằng máy đo màu Hunter Lab (Model MH-C800 4500L, Hoa Kỳ), máy phân tích cấu trúc TMS-PRO (Food Technology Corporation, Hoa Kỳ), cân kỹ thuật KENDY (KD-TBED-3000, Đài Loan), khúc xạ kế cầm tay ATAGO PAL-1 (ATAGO, Nhật Bản) và máy quang phổ BioSpectrometer Basic (Đức),...

2.1.3. Địa điểm nghiên cứu

Toàn bộ các thí nghiệm và phân tích được thực hiện tại Phòng thí nghiệm Khoa Sinh hóa - Thực phẩm, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long từ tháng 01/2026 đến 06/2026.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp chuẩn bị thí nghiệm

Chuẩn bị chuối: Quả chuối được làm sạch bằng nước, khử khuẩn bằng dung dịch chlorine 50 ppm trong 3 phút, sau đó rửa lại bằng nước sạch và để khô tự nhiên ở nhiệt độ phòng trong khoảng 2 giờ trước khi xử lý bằng dung dịch màng bao và bố trí thí nghiệm.

Chuẩn bị màng bao: Dung dịch màng bao được xây dựng dựa theo phương pháp tạo màng của Nguyễn Minh Trọng và cs (2025) [13] với một số điều chỉnh. Cụ thể, XG và SA được phối

trộn với các nồng độ lần lượt là 0,25%SA - 0,2%XG, 0,25%SA - 0,4%XG, 0,50%SA - 0,2%XG và 0,50%SA - 0,4%XG. Các thành phần được hoà tan hoàn toàn trong nước cất và khuấy ở 60°C. Sau khi tạo thành hệ đồng nhất, dung dịch được làm nguội tự nhiên đến nhiệt độ phòng ($30 \pm 2^\circ\text{C}$). Tiếp theo, Tween 80 (0,2%), CaCl_2 (1%), glycerol (2%) và sáp ong (1%) được bổ sung nhằm cải thiện tính ổn định và tăng cường cấu trúc của hệ gel. Hỗn hợp sau đó được khuấy đồng đều và để ổn định trong 10 phút trước khi sử dụng cho quá trình tạo màng bao.

2.2.2. Phương pháp bố trí thí nghiệm

- *Thí nghiệm 1: Đánh giá tỷ lệ nhiễm bệnh, sự thay đổi màu sắc và hao hụt khối lượng của chuối xiêm theo thời gian bảo quản.*

Sau khi nhúng trong dung dịch màng bao, quả chuối được để ráo và làm khô tự nhiên trong 2 giờ ở điều kiện nhiệt độ phòng. Thí nghiệm được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên với 5 nghiệm thức gồm: Đối chứng (nhúng nước cất), 0,25%SA - 0,2%XG, 0,25%SA - 0,4%XG, 0,50%SA - 0,2%XG và 0,50%SA - 0,4%XG. Mỗi nghiệm thức được lặp lại 3 lần, mỗi lần gồm 20 quả. Sau khi màng bao khô, chuối được xếp thành một lớp trong rổ nhựa ($55 \times 38,5 \times 10,7$ cm) với mật độ 20 quả/rổ, khoảng cách giữa các quả khoảng 1 cm, không chồng đè lên nhau và bảo quản ở điều kiện nhiệt độ phòng ($30 \pm 2^\circ\text{C}$, độ ẩm tương đối $75 \pm 5\%$) trong 6 ngày. Các chỉ tiêu màu sắc, hao hụt khối lượng và tỷ lệ nhiễm bệnh được theo dõi trên cùng các quả tại các thời điểm 0, 3 và 6 ngày bảo quản. Màu sắc và khối lượng được xác định lặp lại trên từng quả, trong khi tỷ lệ nhiễm bệnh được tính bằng tỷ lệ số quả xuất hiện triệu chứng bệnh trên tổng số quả theo dõi của mỗi nghiệm thức.

- *Thí nghiệm 2: Đánh giá các chỉ tiêu hóa lý của chuối xiêm theo thời gian bảo quản.*

Thí nghiệm được bố trí tương tự thí nghiệm 1 với 5 nghiệm thức và 3 lần lặp. Do các chỉ tiêu hóa lý là phép thử phá hủy mẫu, tại mỗi thời điểm 0, 3, 6 ngày bảo quản, 9 quả được chọn ngẫu nhiên từ mỗi lần lặp để phân tích. Các chỉ tiêu được xác định gồm: Độ cứng, hàm lượng tổng chất khô hoà tan (TSS), hàm lượng axit tổng số (TA), hàm lượng vitamin C, hàm lượng phenolic tổng số (TPC) và hàm lượng chlorophyll. Sau khi phân tích, mẫu không được sử dụng cho các lần

lấy mẫu tiếp theo.

Trong nghiên cứu này, các chỉ tiêu được theo dõi đến ngày thứ 6 của quá trình bảo quản. Mặc dù các nghiệm thức bao màng có thể duy trì chất lượng đến khoảng ngày thứ 8, nhưng do mẫu đối chứng đã hư hỏng hoàn toàn với tỷ lệ nhiễm bệnh đạt 100% sau 6 ngày nên việc đánh giá ở các thời điểm sau không được thực hiện để đảm bảo tính đồng nhất trong so sánh giữa các nghiệm thức.

2.2.3. Phương pháp phân tích chỉ tiêu

Sự thay đổi màu sắc: Màu sắc của quả chuối trong quá trình bảo quản được xác định bằng máy đo màu Hunter Lab (Model MH-C800 4500L, Hoa Kỳ). Mỗi quả được đo tại 3 vị trí trên bề mặt và lấy giá trị trung bình. Các thông số L^* , a^* và b^* được ghi nhận, trong khi tổng độ sai biệt màu sắc (ΔE) được tính theo phương pháp của Raybaudi-Massillia và cs (2008) [18].

Hao hụt khối lượng (%): Khối lượng quả được xác định tại các thời điểm lấy mẫu ở ngày thứ 0, 3, 6 bằng cân kỹ thuật KENDY (KD-TBED-3000, Đài Loan) (0,01 g) nhằm theo dõi sự thay đổi trong suốt quá trình bảo quản.

Sự thay đổi độ cứng (N): Độ cứng thịt quả được xác định theo phương pháp của Eshetu và cs (2019) [19] bằng thiết bị phân tích cấu trúc TMS-PRO (Food Technology Corporation, Hoa Kỳ). Phép đo được thực hiện tại vùng trung tâm của quả sau khi loại bỏ lớp vỏ, với đầu dò đường kính 5 mm, tốc độ đâm xuyên 10 mm/phút và độ sâu xuyên 10 mm.

TA (%): Được xác định theo phương pháp AOAC theo mô tả của Ranganna (2007) [20]. Mẫu dịch quả (1 mL) được pha loãng với 4 mL nước cất và chuẩn độ bằng NaOH 0,1 N với phenolphthalein 1% làm chất chỉ thị. Kết quả được biểu thị dưới dạng phần trăm axit malic (%).

TSS ($^\circ\text{Bx}$): Được xác định định kỳ trong quá trình bảo quản (ngày 0, 3, 6) bằng khúc xạ kế cầm tay có thang đo 0 - 33 $^\circ\text{Brix}$ (ATAGO, Nhật Bản) theo phương pháp của Zewdie và cs (2022) [21].

TPC (mg GAE/g): Được xác định theo phương pháp Folin-Ciocalteu của Singleton và cs (1999) [22] có điều chỉnh. Hỗn hợp phản ứng gồm: 50 μL dịch chiết, 250 μL thuốc thử Folin-Ciocalteu, 750 μL dung dịch Na_2CO_3 7,5% và 2 mL nước cất. Sau khi ủ ở 40°C trong 30 phút, độ

hấp thụ được đo tại bước sóng 750 nm bằng máy quang phổ BioSpectrometer Basic (Eppendorf AG, Đức). TPC được tính từ đường chuẩn axit gallic (GAE) và biểu thị dưới dạng mg GAE/100 g khối lượng tươi.

Hàm lượng vitamin C (mg/100 g): Được xác định theo phương pháp của Roe và cs (1948) [23] có điều chỉnh. Mẫu được chiết bằng dung dịch HPO_3 5%, cho phản ứng với DCPIP, thiourea, DNPH và H_2SO_4 , sau đó đo độ hấp thụ tại 540 nm bằng máy quang phổ BioSpectrometer Basic (Eppendorf AG, Đức). Hàm lượng vitamin C được tính từ đường chuẩn axit ascorbic và biểu thị theo mg/100 g khối lượng tươi.

Hàm lượng chlorophyll (mg/g): Hàm lượng chlorophyll được xác định theo phương pháp của Liang và cs (2017) [24] có điều chỉnh. Mẫu vỏ chuối (1,0 g) được chiết bằng acetone 80% lạnh trong điều kiện hạn chế ánh sáng, sau đó ly tâm ở 5.000 vòng/phút trong 10 phút. Độ hấp thụ của dịch chiết được đo tại các bước sóng 663 và 645 nm bằng máy quang phổ BioSpectrometer Basic (Eppendorf AG, Đức), sử dụng acetone 80% làm mẫu trắng. Hàm lượng chlorophyll được biểu thị theo khối lượng tươi (mg/g) và tính theo công thức:

$$\text{Chlorophyll (mg/g FW)} = \frac{C \times V}{1000 \times W}$$

Trong đó: C là nồng độ chlorophyll thu được từ phương trình (mg/L); V là thể tích dịch trích (mL); W là khối lượng mẫu tươi (g).

2.3. Phương pháp xử lý số liệu thống kê

Toàn bộ số liệu thu được từ các nghiệm thức được xử lý và phân tích bằng phần mềm Statgraphics Centurion (phiên bản 19-X64). Sự khác biệt giữa các giá trị trung bình được đánh giá thông qua phân tích phương sai một nhân tố (ANOVA), kết hợp phép kiểm định LSD ở mức ý nghĩa thống kê $p < 0,05$.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của màng bao SA - XG đến tỷ lệ nhiễm bệnh của quả chuối xiêm sau thu hoạch

Tỷ lệ bệnh là một chỉ tiêu quan trọng phản ánh mức độ nhiễm bệnh và khả năng chống chịu của quả chuối xiêm đối với các tác nhân gây bệnh trong quá trình bảo quản sau thu hoạch. Kết quả ở bảng 1 cho thấy, tỷ lệ nhiễm bệnh của chuối xiêm

tăng theo thời gian bảo quản ở tất cả các nghiệm thức, tuy nhiên các nghiệm thức bao màng bằng hỗn hợp SA và XG đều làm giảm tỷ lệ nhiễm bệnh so với đối chứng. Sau 3 ngày bảo quản, tỷ lệ nhiễm bệnh ở các nghiệm thức phủ màng dao động từ 20 - 50%, thấp hơn so với đối chứng (60%). Đến ngày thứ 6, đối chứng bị nhiễm hoàn toàn (100%), trong khi các nghiệm thức phủ màng chỉ đạt 50 - 80%. Nghiệm thức 0,50% SA - 0,2% XG cho hiệu quả tốt nhất với tỷ lệ nhiễm bệnh thấp nhất (20% ở ngày 3 và 50% ở ngày 6).

Hiệu quả này có thể được giải thích bởi khả năng hình thành lớp màng bán thấm của hệ SA - XG trên bề mặt quả, giúp điều hòa trao đổi khí, hạn chế mất nước và tạo hàng rào vật lý làm giảm sự xâm nhập và phát triển của vi sinh vật gây bệnh [19]. Khi tăng nồng độ SA từ 0,25% lên 0,50% (ở cùng nồng độ 0,2% XG), hiệu quả kiểm soát bệnh được cải thiện rõ rệt. Ngược lại, việc tăng nồng độ XG lên 0,4% không làm tăng hiệu quả bảo quản, cho thấy tỷ lệ phối trộn giữa SA và XG có ảnh hưởng đáng kể đến đặc tính của màng bao. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Nguyễn Minh Trọng và cs. (2025) [13] và Mou và cs (2023) [14]. Dựa trên khả năng hạn chế tỷ lệ nhiễm bệnh trong thời gian bảo quản, nghiệm thức 0,50%SA - 0,2%XG được lựa chọn cho các đánh giá tiếp theo.

Bảng 1. Tỷ lệ nhiễm bệnh (%) của quả chuối xiêm theo thời gian bảo quản

Nghiệm thức	Tỷ lệ nhiễm bệnh (%)	
	Ngày 3	Ngày 6
Đối chứng	60	100
0,25%SA - 0,2%XG	50	80
0,25%SA - 0,4%XG	40	80
0,50%SA - 0,2%XG	20	50
0,50%SA - 0,4%XG	40	70

3.2. Ảnh hưởng của màng bao SA - XG đến sự thay đổi màu sắc của quả chuối xiêm sau thu hoạch

Màu sắc vỏ là chỉ tiêu quan trọng phản ánh mức độ chín của quả trong quá trình bảo quản sau thu hoạch. Kết quả ở bảng 2 cho thấy, giá trị a tăng ở tất cả các nghiệm thức theo thời gian bảo quản, phản ánh sự phân hủy chlorophyll và sự tích lũy carotenoid trong quá trình chín. Tuy nhiên, tốc độ gia tăng a* có sự khác biệt giữa các

nghiệm thức. Sau 6 ngày bảo quản, mẫu đối chứng có giá trị a^* tăng từ -8,35 lên 11,60, trong khi nghiệm thức 0,50%SA - 0,2%XG chỉ đạt 6,40. Sự gia tăng nhanh giá trị a^* ở đối chứng có thể liên quan đến cường độ hô hấp và sự sản sinh

ethylene cao, thúc đẩy quá trình phân hủy chlorophyll và hình thành carotenoid [25]. Ngược lại, màng bao SA - XG làm chậm sự gia tăng giá trị a^* , góp phần duy trì màu xanh của vỏ và trì hoãn quá trình chín của quả.

Bảng 2. Sự thay đổi giá trị a^* và ΔE của vỏ quả chuối theo thời gian bảo quản

Nghiệm thức	a^*			ΔE	
	Ngày 0	Ngày 3	Ngày 6	Ngày 3	Ngày 6
Đối chứng	$-8,35 \pm 1,13^a$	$6,36 \pm 2,10^a$	$11,60 \pm 0,62^a$	$18,85 \pm 3,16^a$	$21,57 \pm 1,21^a$
0,25%SA - 0,2%XG	$-8,72 \pm 1,56^a$	$5,15 \pm 1,43^a$	$10,26 \pm 0,94^b$	$18,03 \pm 3,33^a$	$20,49 \pm 1,71^b$
0,25%SA - 0,4%XG	$-8,73 \pm 1,57^a$	$3,66 \pm 3,04^b$	$10,17 \pm 0,49^b$	$15,61 \pm 3,34^b$	$20,92 \pm 2,21^a$
0,50%SA - 0,2%XG	$-8,01 \pm 2,07^a$	$-1,35 \pm 4,14^d$	$6,40 \pm 0,42^c$	$8,95 \pm 0,93^d$	$17,35 \pm 2,10^c$
0,50%SA - 0,4%XG	$-8,30 \pm 1,94^a$	$1,58 \pm 3,91^c$	$8,73 \pm 1,61^d$	$12,44 \pm 3,17^c$	$18,81 \pm 2,25^{bc}$

Ghi chú: Các ký tự khác nhau trong cùng cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ($p < 0,05$; LSD).

Xu hướng biến đổi màu sắc này phù hợp với sự thay đổi hàm lượng chlorophyll được trình bày ở bảng 3. Sau 6 ngày bảo quản, hàm lượng chlorophyll của mẫu đối chứng giảm còn 0,0043 mg/g, trong khi các nghiệm thức 0,50%SA - 0,2%XG và 0,50%SA - 0,4%XG vẫn duy trì ở mức 0,0206 và 0,0170 mg/g. Sự suy giảm chlorophyll là đặc trưng của quá trình chín ở chuối, chủ yếu do hoạt động của các enzyme phân giải sắc tố như chlorophyllase, Mg-dechelataase và pheophytinase, làm mất màu xanh của vỏ và bộc lộ các sắc tố carotenoid [26]. Hàm

lượng chlorophyll được duy trì cao hơn ở các nghiệm thức xử lý SA - XG, cho thấy lớp màng bao có khả năng làm chậm quá trình thoái hóa sắc tố. Kết quả này phù hợp với kết quả nghiên cứu của Qasim và cs (2025) [27], trong đó màng bao XG làm giảm hoạt tính của các enzyme phân hủy chlorophyll và trì hoãn sự chuyển màu của quả xoài. Tương tự, kết quả nghiên cứu của Shinga và cs (2025) [28] cũng ghi nhận rằng, việc duy trì hàm lượng chlorophyll ở chuối có liên quan đến sự ức chế hệ enzyme phân giải sắc tố và giảm tổn thương oxy hóa trong mô quả.

Bảng 3. Sự thay đổi hàm lượng chlorophyll của quả chuối theo thời gian bảo quản

Nghiệm thức	Hàm lượng chlorophyll (mg/g)		
	Ngày 0	Ngày 3	Ngày 6
Đối chứng	$0,0383 \pm 0,0005^a$	$0,0149 \pm 0,0001^c$	$0,0043 \pm 0,0004^d$
0,25%SA - 0,2%XG	$0,0383 \pm 0,0005^a$	$0,0165 \pm 0,0013^c$	$0,0043 \pm 0,0007^d$
0,25%SA - 0,4%XG	$0,0383 \pm 0,0005^a$	$0,0216 \pm 0,0045^b$	$0,0115 \pm 0,0004^c$
0,50%SA - 0,2%XG	$0,0383 \pm 0,0005^a$	$0,0328 \pm 0,0006^a$	$0,0206 \pm 0,0007^a$
0,50%SA - 0,4%XG	$0,0383 \pm 0,0005^a$	$0,0391 \pm 0,0005^a$	$0,0170 \pm 0,0006^b$

Ghi chú: Các ký tự khác nhau trong cùng cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ($p < 0,05$; LSD).

Bên cạnh đó, giá trị ΔE tăng dần theo thời gian bảo quản ở tất cả các nghiệm thức, phản ánh mức độ biến đổi màu sắc tổng thể của vỏ quả. Mẫu đối chứng ghi nhận ΔE cao nhất sau 6 ngày bảo quản (21,57), trong khi nghiệm thức 0,50%SA - 0,2%XG duy trì giá trị thấp nhất (17,35). Giá trị ΔE thấp cho thấy màu sắc vỏ được duy trì ổn định hơn, đồng thời phản ánh quá

trình chín diễn ra chậm hơn. Hiệu quả này có thể được giải thích bởi lớp màng SA - XG tạo hàng rào bán thấm, điều hòa trao đổi khí, qua đó làm giảm cường độ hô hấp và sự sinh tổng hợp ethylene, góp phần làm chậm quá trình phân hủy chlorophyll và tích lũy carotenoid trong quá trình chín [14, 27]. Nhờ đó, nghiệm thức 0,50%SA - 0,2%XG duy trì màu sắc vỏ tốt nhất và được lựa

chọn cho các đánh giá tiếp theo.

3.3. Ảnh hưởng của màng bao SA - XG đến sự thay đổi khối lượng của quả chuối sau thu hoạch

Sự hao hụt khối lượng là chỉ tiêu quan trọng phản ánh mức độ mất nước và cường độ trao đổi chất của quả trong quá trình bảo quản. Kết quả ở

bảng 4 cho thấy, tỷ lệ hao hụt khối lượng tăng dần theo thời gian ở tất cả các nghiệm thức, tuy nhiên các nghiệm thức bao màng đều có giá trị thấp hơn đối chứng ($p < 0,05$). Sau 6 ngày bảo quản, hao hụt khối lượng của đối chứng đạt 13,96%, gần gấp hai lần so với nghiệm thức 0,50%SA - 0,2%XG (7,00%).

Bảng 4. Tổn thất khối lượng của quả chuối theo thời gian bảo quản

Nghiệm thức	Tổn thất khối lượng (%)	
	Ngày 3	Ngày 6
Đối chứng	6,30 ± 0,45 ^a	13,96 ± 1,81 ^a
0,25%SA - 0,2%XG	5,19 ± 0,83 ^b	10,15 ± 3,98 ^b
0,25%SA - 0,4%XG	4,79 ± 1,42 ^b	10,34 ± 2,24 ^b
0,50%SA - 0,2%XG	2,21 ± 1,09 ^d	7,00 ± 2,36 ^c
0,50%SA - 0,4%XG	3,81 ± 1,30 ^c	8,93 ± 1,98 ^{bc}

Ghi chú: Các ký tự khác nhau trong cùng cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ($p < 0,05$; LSD).

Sự hao hụt khối lượng của quả chủ yếu bắt nguồn từ quá trình thoát hơi nước và tiêu hao cơ chất trong hô hấp. Do là loại quả hô hấp đột biến, chuối có cường độ hô hấp và tốc độ sinh ethylene tăng mạnh trong quá trình chín, làm gia tăng mất nước và tiêu hao các hợp chất dự trữ [28]. Trong nghiên cứu này, các nghiệm thức bao màng SA - XG làm giảm đáng kể hao hụt khối lượng so với đối chứng nhờ hình thành lớp màng bán thấm trên bề mặt quả, giúp hạn chế thoát hơi nước, điều hòa trao đổi khí và giảm cường độ hô hấp [29]. Tuy nhiên, việc tăng nồng độ XG từ 0,2% lên 0,4%

không cải thiện thêm hiệu quả bảo quản, cho thấy hiệu quả của lớp phủ phụ thuộc vào sự cân bằng giữa khả năng cản ẩm và tính thấm khí. Lớp màng quá dày có thể làm hạn chế khuếch tán O₂ và CO₂, gây tích tụ CO₂ nội sinh và ảnh hưởng bất lợi đến quá trình trao đổi chất của quả [30]. Nhìn chung, nghiệm thức 0,50%SA - 0,2%XG cho hiệu quả hạn chế hao hụt khối lượng tốt nhất và được xác định là công thức tối ưu cho các đánh giá tiếp theo.

3.4. Ảnh hưởng của màng bao SA - XG đến sự thay đổi độ cứng của quả chuối sau thu hoạch

Bảng 5. Sự thay đổi độ cứng của quả chuối theo thời gian bảo quản

Nghiệm thức	Sự thay đổi độ cứng (N)		
	Ngày 0	Ngày 3	Ngày 6
Đối chứng	34,42 ± 2,53 ^a	3,17 ± 0,67 ^b	2,29 ± 0,16 ^b
0,25%SA - 0,2%XG	34,02 ± 1,34 ^a	3,67 ± 0,19 ^b	2,40 ± 0,23 ^b
0,25%SA - 0,4%XG	34,65 ± 1,98 ^a	3,86 ± 0,78 ^b	2,48 ± 0,41 ^b
0,50%SA - 0,2%XG	35,01 ± 1,56 ^a	9,37 ± 1,08 ^a	4,14 ± 0,38 ^a
0,50%SA - 0,4%XG	34,32 ± 2,01 ^a	8,12 ± 1,89 ^a	2,85 ± 0,40 ^b

Ghi chú: Các ký tự khác nhau trong cùng cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ($p < 0,05$; LSD).

Độ cứng của quả chuối giảm dần trong suốt quá trình bảo quản ở tất cả các nghiệm thức (Bảng 5), phản ánh quá trình chín và mềm hóa mô quả sau thu hoạch. Cụ thể, độ cứng mẫu đối chứng giảm nhanh từ 34,42 N xuống 2,29 N ở ngày thứ 6. Ngược lại, nghiệm thức 0,50%SA - 0,2%XG duy trì độ cứng cao nhất, đạt 9,37 N và 4,14 N tương ứng ở ngày thứ 3 và 6. Các nghiệm thức còn lại có độ cứng thấp hơn và không khác biệt đáng kể so với đối chứng vào cuối thời gian

bảo quản. Sự suy giảm độ cứng của chuối trong quá trình chín chủ yếu liên quan đến sự phân hủy thành tế bào dưới tác động của các enzyme thủy phân như polygalacturonase, pectin methylesterase, cellulase và β -galactosidase, làm phân giải pectin ở lớp phiến giữa và suy yếu liên kết giữa các tế bào nhu mô [31]. Đồng thời, do chuối là quả hô hấp đột biến, sự gia tăng cường độ hô hấp và sinh tổng hợp ethylene thúc đẩy hoạt động của các enzyme này, đồng thời kích thích quá trình thoái

hóa chlorophyll, dẫn đến hiện tượng mềm hóa mô quả và chuyển màu vỏ từ xanh sang vàng [32]. Trong nghiên cứu này, lớp phủ SA - XG hoạt động như một màng bán thấm, giúp điều hòa trao đổi O_2 và CO_2 , làm giảm cường độ hô hấp và trì hoãn quá trình chín, qua đó hạn chế sự phân giải thành tế bào và chlorophyll, góp phần duy trì độ cứng và màu xanh của quả. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây về màng bao polysaccharide trên chuối [32, 33]. Nhìn chung, nghiệm thức 0,50%SA - 0,2%XG cho hiệu quả duy trì cấu trúc mô tốt nhất, được lựa chọn là công thức tối ưu cho các nghiên cứu tiếp theo.

3.5. Ảnh hưởng của màng bao SA - XG đến TSS và TA của quả chuối sau thu hoạch

Hàm lượng TSS và TA là hai chỉ tiêu quan trọng phản ánh các biến đổi sinh hóa liên quan đến quá trình chín của chuối sau thu hoạch. Bảng 6 và 7 cho thấy, TSS tăng trong khi TA giảm ở tất cả các nghiệm thức trong suốt quá trình bảo quản; tuy nhiên, tốc độ biến đổi khác nhau đáng kể giữa các nghiệm thức xử lý màng

bao và đối chứng ($p < 0,05$).

Kết quả ở bảng 6 cho thấy, TSS tăng dần ở tất cả các nghiệm thức trong quá trình bảo quản, tuy nhiên tốc độ gia tăng ở đối chứng cao hơn đáng kể so với các nghiệm thức bao màng ($p < 0,05$). Sau 3 và 6 ngày bảo quản, TSS của đối chứng tăng từ 3,33 lên 14,17 và 27,67 $^{\circ}$ Bx, trong khi nghiệm thức 0,50%SA - 0,2%XG chỉ đạt 6,17 và 17,83 $^{\circ}$ Bx. Sự gia tăng TSS chủ yếu là kết quả của quá trình thủy phân tinh bột thành các đường hòa tan dưới tác động của các enzyme amylase, invertase và sucrose synthase trong quá trình chín [34]. Do chuối là quả hô hấp đột biến, sự gia tăng hô hấp và sinh tổng hợp ethylene thúc đẩy quá trình chuyển hóa carbohydrate, làm tăng nhanh hàm lượng đường hòa tan [28]. Trong nghiên cứu này, lớp phủ SA - XG, đặc biệt ở nghiệm thức 0,50%SA - 0,2%XG đã làm chậm sự tích lũy TSS thông qua việc điều hòa trao đổi khí, giảm cường độ hô hấp và trì hoãn quá trình chín sau thu hoạch [35].

Bảng 6. Sự thay đổi TSS của quả chuối theo thời gian bảo quản

Nghiệm thức	TSS ($^{\circ}$ Bx)		
	Ngày 0	Ngày 3	Ngày 6
Đối chứng	3,43 $\pm$ 0,07 ^a	14,17 $\pm$ 0,76 ^a	27,67 $\pm$ 0,58 ^a
0,25%SA - 0,2%XG	3,35 $\pm$ 0,57 ^a	9,67 $\pm$ 0,58 ^b	27,17 $\pm$ 0,29 ^a
0,25%SA - 0,4%XG	3,22 $\pm$ 0,35 ^a	10,17 $\pm$ 0,76 ^b	24,67 $\pm$ 0,58 ^b
0,50%SA - 0,2%XG	3,30 $\pm$ 0,43 ^a	6,17 $\pm$ 0,29 ^d	17,83 $\pm$ 0,29 ^c
0,50%SA - 0,4%XG	3,33 $\pm$ 0,28 ^a	7,17 $\pm$ 0,29 ^c	23,67 $\pm$ 0,58 ^b

Ghi chú: Các ký tự khác nhau trong cùng cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ($p < 0,05$; LSD).

Bảng 7. Sự thay đổi TA của quả chuối theo thời gian bảo quản

Nghiệm thức	TA (%)		
	Ngày 0	Ngày 3	Ngày 6
Đối chứng	0,47 $\pm$ 0,03 ^a	0,26 $\pm$ 0,02 ^c	0,12 $\pm$ 0,02 ^d
0,25%SA - 0,2%XG	0,47 $\pm$ 0,03 ^a	0,27 $\pm$ 0,04 ^c	0,16 $\pm$ 0,02 ^c
0,25%SA - 0,4%XG	0,47 $\pm$ 0,03 ^a	0,29 $\pm$ 0,02 ^c	0,16 $\pm$ 0,02 ^c
0,50%SA - 0,2%XG	0,47 $\pm$ 0,03 ^a	0,43 $\pm$ 0,01 ^a	0,36 $\pm$ 0,02 ^a
0,50%SA - 0,4%XG	0,47 $\pm$ 0,03 ^a	0,38 $\pm$ 0,02 ^b	0,29 $\pm$ 0,02 ^b

Ghi chú: Các ký tự khác nhau trong cùng cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ($p < 0,05$; LSD).

Ngược lại với TSS, hàm lượng TA của quả chuối giảm dần trong suốt quá trình bảo quản (Bảng 7). Tất cả các nghiệm thức có giá trị ban đầu là 0,47%, sau đó giảm xuống còn 0,12% ở đối chứng và 0,36% ở nghiệm thức 0,50%SA - 0,2%XG sau 6 ngày bảo quản ($p < 0,05$). Sự suy giảm TA chủ yếu do các axit hữu cơ được sử dụng làm cơ chất trong quá trình hô hấp và các

phản ứng trao đổi chất trong giai đoạn chín [36]. Do đó, khả năng duy trì hàm lượng TA cao hơn ở các nghiệm thức bao màng cho thấy lớp phủ SA - XG đã làm giảm cường độ hô hấp và làm chậm quá trình chín của quả. Đồng thời, sự gia tăng TSS chậm kết hợp với sự suy giảm TA thấp ở nghiệm thức 0,50%SA - 0,2%XG tiếp tục khẳng định hiệu quả điều hòa quá trình chín của hệ

màng này. Kết quả thu được phù hợp với các nghiên cứu trên chuối của Dwivany và cs (2020) [31] và trên xoài của Nguyen và cs (2026) [37], trong đó màng polysaccharide giúp duy trì hàm lượng axit hữu cơ và làm chậm sự tích lũy chất rắn hòa tan trong quá trình bảo quản. Nhìn chung, nghiệm thức 0,50%SA - 0,2%XG đạt hiệu quả

cao nhất trong việc duy trì TA và hạn chế sự tăng nhanh của TSS, tạo cơ sở tiền đề cho đánh giá về đặc tính lý hoá của quả chuối xiêm trong quá trình bảo quản.

3.6. Ảnh hưởng của màng bao SA - XG đến TPC và vitamin C

Bảng 8. Sự thay đổi TPC của quả chuối theo thời gian bảo quản

Nghiệm thức	Hàm lượng phenolic (mg GAE/g)		
	Ngày 0	Ngày 3	Ngày 6
Đối chứng	433,30 ± 1,50 ^a	256,83 ± 1,50 ^d	85,26 ± 1,13 ^d
0,25%SA - 0,2%XG	433,30 ± 1,50 ^a	258,79 ± 2,26 ^d	88,20 ± 2,04 ^d
0,25%SA - 0,4%XG	433,30 ± 1,50 ^a	285,26 ± 2,47 ^c	104,87 ± 3,96 ^c
0,50%SA - 0,2%XG	433,30 ± 1,50 ^a	342,78 ± 1,50 ^a	201,28 ± 3,53 ^a
0,50%SA - 0,4%XG	433,30 ± 1,50 ^a	293,11 ± 1,50 ^b	175,78 ± 1,96 ^b

Ghi chú: Các ký tự khác nhau trong cùng cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ($p < 0,05$; LSD).

Bảng 8 cho thấy, TPC của quả chuối giảm dần trong suốt quá trình bảo quản ở tất cả các nghiệm thức, tuy nhiên mức độ suy giảm có sự khác biệt rõ rệt giữa các công thức xử lý. Nghiệm thức đối chứng ghi nhận sự thất thoát TPC nhiều nhất, từ 433,30 mg GAE/g ở thời điểm ngày 0, sau đó giảm xuống còn 85,26 mg GAE/g ở ngày thứ 6. Ngược lại, các nghiệm thức được xử lý màng bao SA - XG duy trì TPC tốt hơn đáng kể ($p < 0,05$). Trong đó, nghiệm thức 0,50%SA - 0,2%XG thể hiện hiệu quả nổi bật khi vẫn duy trì được 342,78 mg GAE/g ở ngày thứ 3 và 201,28 mg GAE/g ở cuối thời gian bảo quản, cao hơn khoảng 2,36 lần so với đối chứng.

Nguyên nhân sự suy giảm TPC trong quá trình chín có liên quan mật thiết đến cường độ hô hấp và các phản ứng oxy hóa diễn ra trong mô quả. Các hợp chất phenolic đóng vai trò là chất chống oxy hóa tự nhiên sẽ tham gia trung hòa các gốc tự do và các dạng oxy phản ứng (ROS), từ đó dẫn đến sự suy giảm TPC [38]. Đồng thời, enzyme polyphenol oxidase (PPO) và peroxidase (POD) xúc tác quá trình oxy hóa các hợp chất phenolic thành quinone, làm giảm đáng kể hàm lượng các hợp chất này trong quá trình bảo quản [39]. Kết quả hiện tại tương đồng với kết quả nghiên cứu của Morais và cs (2015) [40], cho thấy TPC ở trái cây có xu hướng giảm dần khi quả chuyển từ giai đoạn xanh sang chín hoàn toàn. Ngoài ra, khả năng duy trì TPC cao hơn ở

các nghiệm thức xử lý SA - XG có thể được giải thích bởi sự hình thành mạng lưới polymer thông qua liên kết hydro giữa SA và XG tạo cấu trúc vi mô chặt chẽ hơn, giúp tăng hiệu quả cản khí và duy trì trạng thái sinh lý ổn định của quả trong quá trình bảo quản [9, 12, 37, 41]. Lớp phủ này làm giảm quá trình thoát hơi nước, hạn chế khuếch tán oxy và điều hòa môi trường khí xung quanh bề mặt quả, từ đó làm giảm cường độ hô hấp và hạn chế các phản ứng oxy hóa xảy ra trong mô quả [27]. Đồng thời, hệ màng SA - XG còn góp phần duy trì các hợp chất sinh học quan trọng, qua đó hỗ trợ bảo vệ quả trước stress oxy hóa và kéo dài chất lượng sau thu hoạch.

Bên cạnh đó, hàm lượng vitamin C của quả chuối (Bảng 9) giảm dần trong suốt thời gian bảo quản ở tất cả các nghiệm thức. Nghiệm thức đối chứng có sự suy giảm mạnh nhất, từ 433,30 mg/100 g xuống 276,86 mg/100 g ở ngày thứ 3 và 91,95 mg/100 g sau 6 ngày bảo quản. Trong khi đó, các nghiệm thức xử lý bằng màng SA - XG đều duy trì hàm lượng vitamin C cao hơn đáng kể. Trong đó, nghiệm thức 0,50%SA - 0,2%XG cho hiệu quả lưu giữ hàm lượng vitamin C tốt nhất với 413,33 mg/100 g ở ngày thứ 3 và 218,99 mg/100 g ở ngày thứ 6, cao hơn khoảng 2,38 lần so với đối chứng. Kết quả này cho thấy, việc kết hợp SA và XG có tác dụng tích cực trong việc hạn chế tổn thất vitamin C và duy trì giá trị dinh dưỡng của quả chuối sau thu hoạch.

Bảng 9. Sự thay đổi hàm lượng vitamin C của quả chuối theo thời gian bảo quản

Nghiệm thức	Hàm lượng vitamin C (mg/100 g)		
	Ngày 0	Ngày 3	Ngày 6
Đối chứng	433,30 ± 1,50 ^a	276,86 ± 1,44 ^d	91,95 ± 1,44 ^d
0,25%SA - 0,2%XG	433,30 ± 1,50 ^a	280,63 ± 2,37 ^d	93,52 ± 1,96 ^d
0,25%SA - 0,4%XG	433,30 ± 1,50 ^a	292,26 ± 3,40 ^c	104,53 ± 1,89 ^c
0,50%SA - 0,2%XG	433,30 ± 1,50 ^a	413,33 ± 1,44 ^a	218,99 ± 1,44 ^a
0,50%SA - 0,4%XG	433,30 ± 1,50 ^a	344,47 ± 1,96 ^b	180,31 ± 1,44 ^c

Ghi chú: Các ký tự khác nhau trong cùng cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ($p < 0,05$; LSD).

Sự suy giảm hàm lượng vitamin C trong quá trình chín của chuối chủ yếu liên quan đến quá trình oxy hóa ascorbic axit dưới tác động của cường độ hô hấp cao và sự gia tăng các dạng oxy phản ứng (ROS). Khác với hợp chất phenolic có thể được tổng hợp mới thông qua con đường phenylpropanoid như một phản ứng thích nghi với stress, vitamin C chủ yếu bị tiêu hao trong hệ thống chống oxy hóa nội sinh để trung hòa ROS và bảo vệ tính toàn vẹn của màng tế bào [42]. Sự kết hợp giữa SA và XG tạo nên màng polymer bán thấm có cấu trúc đặc hơn, từ đó kiểm soát hiệu quả quá trình khuếch tán O₂ và CO₂. Cơ chế này giúp làm chậm hô hấp, giảm cường độ trao đổi chất và hạn chế sự tích lũy ROS trong mô quả, qua đó làm giảm tốc độ oxy hóa ascorbic axit. Hiệu quả vượt trội ở nghiệm thức 0,50%SA - 0,2%XG cho thấy, tỷ lệ phối hợp phù hợp giữa SA và XG có thể tạo được cấu trúc màng tối ưu, cân bằng giữa khả năng tạo hàng rào và duy trì trạng thái sinh lý bình thường của quả. Ngược lại, khi tăng nồng độ XG lên 0,4%, cấu trúc màng quá đặc có thể cản trở trao đổi khí quá mức, gây mất cân bằng khí nội sinh và ảnh hưởng bất lợi đến hoạt động chuyển hóa, từ đó làm giảm hiệu quả bảo tồn vitamin C trong quá trình bảo quản [33]. Nhìn chung, công thức 0,50%SA - 0,2%XG được đề xuất là công thức bảo quản tối ưu cho quả chuối xiêm sau thu hoạch.

4. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

Nghiệm thức 0,50%SA - 0,20%XG cho hiệu quả bảo quản tốt nhất so với các nghiệm thức còn lại. Lớp phủ này có khả năng làm chậm sự biến đổi màu sắc, giảm hao hụt khối lượng và tỷ lệ nhiễm bệnh, đồng thời duy trì tốt hơn độ cứng, hàm lượng chlorophyll, TSS, TA, TPC và vitamin C của quả trong quá trình bảo quản. So với mẫu đối chứng chỉ duy trì chất lượng trong khoảng 6 ngày, quả chuối xử lý bằng màng 0,50%SA -

0,20%XG có thể kéo dài thời gian bảo quản đến khoảng 8 ngày ở điều kiện nhiệt độ phòng (30 ± 2°C; RH 75 ± 5%). Do đó, công thức 0,50%SA - 0,20%XG được lựa chọn để làm cơ sở xây dựng quy trình bảo quản chuối sau thu hoạch bằng màng bao ăn được.

Cần tiếp tục nghiên cứu tối ưu hóa quy trình tạo màng và đánh giá hiệu quả của hệ màng SA - XG trên các điều kiện bảo quản khác nhau, đồng thời bổ sung các chỉ tiêu sinh lý và vi sinh như: Cường độ hô hấp, hàm lượng ethylene và tổng số vi sinh vật, chất lượng cảm quan nhằm hoàn thiện cơ sở khoa học và mở rộng khả năng ứng dụng trong thực tiễn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2023). *Banana market review 2022*. Rome, Italy.
- [2]. del Río-Celestino, M. & Font, R. (2020). The health benefits of fruits and vegetables. *Foods*, 9(3), 369. DOI:10.3390/foods9030369.
- [3]. Nguyễn Văn Nghiêm (2019). *Sổ tay hướng dẫn kỹ thuật canh tác cây chuối theo VietGAP*. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn.
- [4]. Jones, D. R. (2018). *Handbook of diseases of banana, abaca and enset*. CABI.
- [5]. Ruiz Medina, M. D. & Ruales, J. (2024). Post-harvest alternatives in banana cultivation. *Agronomy*, 14(9), 2109. DOI: 10.3390/agronomy14092109.
- [6]. Vishwasrao, C. & Ananthanarayan, L. (2017). Delayed post-harvest ripening-associated changes in *Manilkara zapota* L. var. Kalipatti with composite edible coating. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(2): 536 - 542. DOI:10.1002/jsfa.7758.
- [7]. Joshy, K. S., Jose, J., Li, T., Thomas, M., Shankregowda, A. M., Sreekumaran, S. &

- Thomas, S. (2020). Application of novel zinc oxide reinforced xanthan gum hybrid system for edible coatings. *International Journal of Biological Macromolecules*, 151, 806 - 813. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2020.02.085.
- [8]. Hazirah, M. N., Isa, M. & Sarbon, N. (2016). Effect of xanthan gum on the physical and mechanical properties of gelatin-carboxymethyl cellulose film blends. *Food Packaging and Shelf Life*, 9, 55 - 63. DOI:10.1016/j.fpsl.2016.05.008.
- [9]. Bajaj, K., Kumar, A., Gill, P., Jawandha, S. & Kaur, N. (2024). Xanthan gum coatings augmented with lemongrass oil preserve postharvest quality and antioxidant defence system of Kinnow fruit under low-temperature storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 262, 129776. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2024.129776.
- [10]. Dong, Z., Wang, Q. & Du, Y. (2006). Alginate/gelatin blend films and their properties for drug controlled release. *Journal of Membrane Science*, 280(1 - 2), 37 - 44. DOI:10.1016/j.memsci.2006.01.002.
- [11]. Aloui, H., Licciardello, F., Khwaldia, K., Hamdi, M. & Restuccia, C. (2015). Physical properties and antifungal activity of bioactive films containing *Wickerhamomyces anomalus* killer yeast and their application for preservation of oranges and control of postharvest green mold caused by *Penicillium digitatum*. *International Journal of Food Microbiology*, 200, 22 - 30. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2015.01.015.
- [12]. Rhim, J.-W. (2004). Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. *LWT - Food Science and Technology*, 37(3), 323 - 330. DOI:10.1016/j.lwt.2003.09.008.
- [13]. Nguyễn Minh Trọng, Nguyễn Lê Yên Nhi, Quách Văn Cao Thi, Nguyễn Trung Trực (2025). Nghiên cứu ảnh hưởng của màng bao xanthan gum đến sự thay đổi một số chỉ tiêu chất lượng của quả đu đủ (*Carica papaya* L.) sau thu hoạch. *Tạp chí Nông nghiệp và Môi trường*, (12), 39 - 50.
- [14]. Mou, L., Lu, Y., Zhang, J., Bilal, M., Li, J. & Li, G. (2023). Sodium alginate coating of Ginkgo biloba leaves extract containing phenylpropanoids as an ecofriendly preserving agent to maintain the quality of peach fruit. *Journal of Food Science*, 88(9), 3649 - 3665. DOI:10.1111/1750-3841.16708.
- [15]. Liu, C., Jin, T., Liu, W., Hao, W., Yan, L. & Zheng, L. (2021). Effects of hydroxyethyl cellulose and sodium alginate edible coating containing asparagus waste extract on postharvest quality of strawberry fruit. *LWT - Food Science and Technology*, 148, 111770. DOI:10.1016/j.lwt.2021.111770.
- [16]. Golly, M. K., Ma, H., Sarpong, F., Dotse, B. P., Oteng-Darko, P. & Dong, Y. (2019). Shelf-life extension of grape (*Pinot noir*) by xanthan gum enriched with ascorbic and citric acid during cold temperature storage. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 4867 - 4878. DOI:10.1007/s13197-019-03956-7.
- [17]. Lobo, M. G. & Montero-Calderón, M. (2020). Harvesting and postharvest technology of banana. *Handbook of Banana Production, Postharvest Science, Processing Technology and Nutrition*, 61 - 80. DOI:10.1002/9781119528265.ch4.
- [18]. Raybaudi-Massilia, R. M., Mosqueda-Melgar, J. & Martín-Belloso, O. (2008). Edible alginate-based coating as carrier of antimicrobials to improve shelf-life and safety of fresh-cut melon. *International Journal of Food Microbiology*, 121(3), 313 - 327. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2007.11.010.
- [19]. Eshetu, A., Ibrahim, A. M., Forsido, S. F. & Kuyu, C. G. (2019). Effect of beeswax and chitosan treatments on quality and shelf life of selected mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *Heliyon*, 5(1), 1 - 22. DOI: 10.1016/j.heliyon.2018.e01116.
- [20]. Ranganna, S. (2007). *Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products*. Tata McGraw-Hill.
- [21]. Zewdie, B., Shonte, T. T. & Woldetsadik, K. (2022). Shelf life and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits as affected by neem leaf extract dipping and beeswax coating. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 570 - 592. DOI:10.1080/10942912.2022.2053709.
- [22]. Singleton, V. L., Orthofer, R. & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of

total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152 - 178. DOI:10.1016/S0076-6879(99)99017-1.

[23]. Roe, J. H., Mills, M. B., Oesterling, M. J. & Damron, C. M. (1948). The determination of diketo-L-gulonic acid, dehydro-L-ascorbic acid, and L-ascorbic acid in the same tissue extract by the 2,4-dinitrophenylhydrazine method. *Journal of Biological Chemistry*, 174, 201 - 208. DOI:10.1016/S0021-9258(18)57387-7.

[24]. Liang, Y., Urano, D., Liao, K.-L., Hedrick, T. L., Gao, Y. & Jones, A. M. (2017). A nondestructive method to estimate the chlorophyll content of *Arabidopsis* seedlings. *Plant Methods*, 13(1), 26. DOI:10.1186/s13007-017-0174-6.

[25]. Saha, A., Tyagi, S., Gupta, R. K. & Tyagi, Y. K. (2017). Natural gums of plant origin as edible coatings for food industry applications. *Critical Reviews in Biotechnology*, 37(8), 959 - 973. DOI:10.1080/07388551.2017.1286449.

[26]. Yan, J., Zhao, H., Sun, Y., Gao, W., Xu, Z., Li, J. & Jiao, W.. (2026). Burdock fructooligosaccharide improves peel browning in green banana through its regulation of antioxidant and chlorophyll metabolism. *Horticulturae*, 12(3), 316. DOI:10.3390/horticulturae12030316.

[27]. Qasim, M., Ali, S., Javed, H. U., Naz, S., Khan, A. S., Hassan, M. & Rehman, R. N. U. (2025). Xanthan gum coating delays ripening of harvested *Mangifera indica* L. fruit by suppressing chlorophyll catabolism and cell wall polysaccharides degradation. *Postharvest Biology and Technology*, 228, 113635. DOI:10.1016/j.postharvbio.2025.113635.

[28]. Shinga, M. H., Silue, Y. & Fawole, O. A. (2025). Recent advancements and trends in postharvest application of edible coatings on bananas: a comprehensive review. *Plants*, 14(4), 581. DOI:10.3390/plants14040581.

[29]. Hajar, N., Tan, E., Bakar, S. A. & Asli, N. (2024). Antibacterial properties of cassava starch/xanthan gum/zinc oxide nanoparticles coating solution and physicochemical analysis of coated banana (*Musa acuminata*) for shelf-life extension. *International Food Research Journal*, 31(5), 1120 - 1133. DOI:10.47836/ifrj.31.5.04.

[30]. Lu, L., Luo, Q., Huang, Z., Liu, W., Zou, Y., Yang, Y. & Cheng, Y. (2026). A gas-permeable edible coating alleviates CO₂-induced off-flavor formation and reduces weight loss in postharvest citrus fruit. *Food Chemistry*, 149257. DOI:10.1016/j.foodchem.2026.149257.

[31]. Dwivany, F. M., Aprilyandi, A. N., Suendo, V. & Sukriandi, N. (2020). Carrageenan edible coating application prolongs Cavendish banana shelf life. *International Journal of Food Science*, 8861610. DOI:10.1155/2020/8861610.

[32]. Ali, S., Ullah, M. A., Nawaz, A., Naz, S., Shah, A. A., Gohari, G. & Razzaq, K. (2022). Carboxymethyl cellulose coating regulates cell wall polysaccharides disassembly and delays ripening of harvested banana fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 191, 111978. DOI:10.1016/j.postharvbio.2022.111978.

[33]. Geng, J., Baez, C. L., Kitin, P., Plaza, N. Z., Zhang, X., Lundberg, B. & Zhu, J. (2025). Barrier coating of bananas using plant cellulose and edible lemon peel fibrils to extend shelf-life. *International Journal of Biological Macromolecules*, 149666. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2025.149666.

[34]. Prasanna, V., Prabha, T. N. & Tharanathan, R. N. (2007). Fruit ripening phenomena-an overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(1), 1 - 19. DOI:10.1080/10408390600976841

[35]. Thakur, R., Pristijono, P., Bowyer, M., Singh, S. P., Scarlett, C. J., Stathopoulos, C. E. & Vuong, Q. V. (2019). A starch edible surface coating delays banana fruit ripening. *LWT – Food Science and Technology*, 100, 341 - 347. DOI:10.1016/j.lwt.2018.10.055.

[36]. Pott, D. M., Vallarino, J. G. & Osorio, S. (2020). Metabolite changes during postharvest storage: Effects on fruit quality traits. *Metabolites*, 10(5), 187. DOI:10.3390/metabo10050187.

[37]. Nguyen, T. T., Quach, T. C. V., Ho, T. C. & Le, V. T. (2026). Sodium alginate-carboxymethyl cellulose composite coating incorporating natamycin improves disease resistance and preserves postharvest attributes of 'Cat Chu' mango fruit. *Coatings*, 16(5), 549. DOI: 10.3390/coatings16050549.

[38]. Li, X., Li, M., Wang, L., Wang, J., Jin, P. & Zheng, Y. (2018). Methyl jasmonate primes

defense responses against wounding stress and enhances phenolic accumulation in fresh-cut pitaya fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 145, 101 - 107. DOI:10.1016/j.postharvbio.2018.07.001.

[39]. Macheix, J.-J. (2018). *Fruit phenolics*. CRC Press.

[40]. Morais, D. R., Rotta, E. M., Sargi, S. C., Schmidt, E. M., Bonafe, E. G., Eberlin, M. N. & Visentainer, J. V. (2015). Antioxidant activity, phenolics and UPLC-ESI (-)-MS of extracts from different tropical fruit parts and processed peels. *Food Research International*, 77, 392 - 399. DOI:10.1016/j.foodres.2015.08.036.

[41]. Wen, Q., Wang, X., Liu, B., Lu, L., Zhang, X., Swing, C. J. & Xia, S. (2022). Effect of synergism between sodium alginate and xanthan gum on characteristics of composite film and gloss of areca nut coating. *Food Bioscience*, 50, 102113. DOI:10.1016/j.fbio.2022.102113.

[42]. Jimenez, A., Creissen, G., Kular, B., Firmin, J., Robinson, S., Verhoeven, M. & Mullineaux, P. (2002). Changes in oxidative processes and components of the antioxidant system during tomato fruit ripening. *Planta*, 214(5), 751 - 758. DOI:10.1007/s004250100667.

EFFECTS OF SODIUM ALGINATE - XANTHAN GUM EDIBLE COATING ON POSTHARVEST QUALITY CHANGES OF AWAK BANANA (*Musa paradisiaca* var. Awak)

Nguyen Minh Trong¹, Nguyen Le Yen Nhi¹, Tran Minh Phuc¹,
Pham Trong Cau¹, Nguyen Trung Truc¹

¹Faculty of Biochemistry and Food Technology,
Vinh Long University of Technology Education

Abstract

This study evaluated the effects of an edible coating formulated from xanthan gum (XG) and sodium alginate (SA) on the postharvest quality of Awak banana (*Musa paradisiaca* var. Awak). Fruits were immersed in the coating solution for 15 s and stored at $30 \pm 2^\circ\text{C}$ and $75 \pm 5\%$ relative humidity under five treatments: Distilled water (control), 0.25% SA - 0.2% XG, 0.25% SA - 0.4% XG, 0.50% SA - 0.2% XG and 0.50% SA - 0.4% XG. Peel color, chlorophyll content, weight loss, firmness, total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), total phenolic content (TPC), vitamin C content and disease incidence were monitored throughout storage. All edible coating treatments effectively delayed fruit ripening and maintained fruit quality compared with the control. Among the tested formulations, the 0.50% SA - 0.2% XG treatment exhibited the greatest preservation efficacy, resulting in a disease incidence of less than 50%, lower weight loss (7.00%), higher firmness (4.14 N) and better retention of chlorophyll (0.0206 mg/g) after 6 days of temperature store. This treatment also effectively maintained TSS ($17.83 \pm 0.29^\circ\text{Bx}$), TA ($0.36 \pm 0.02\%$), TPC (201.28 mg GAE/g), and vitamin C (218.99 mg/100 g). These findings demonstrate that the SA - XG edible coating is a promising postharvest preservation strategy for extending storage life and maintaining the quality of Awak bananas under ambient storage conditions.

Keywords: Awak banana, edible coating, postharvest preservation, sodium alginate, xanthan gum.

Ngày nhận bài: 23/4/2026

Ngày chuyển phản biện: 5/5/2026

Ngày thông qua phản biện: 10/6/2026

Ngày duyệt đăng: 01/7/2026