



DOI:10.22144/ctujos.2026.074

ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC LOẠI MÀNG ĂN ĐƯỢC ĐẾN CHẤT LƯỢNG ĐẬU BẮP (*Abelmoschus esculentus* L.) TƯƠI TRONG QUÁ TRÌNH BẢO QUẢN

Tống Thị Ánh Ngọc*, Nguyễn Đức Tùng và Đặng Thị Thu Tâm

Viện Công nghệ Sinh học và Thực phẩm, Đại học Cần Thơ, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): ttangoc@ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 10/12/2025

Sửa bài (Revised): 12/01/2026

Duyệt đăng (Accepted): 17/04/2026

Title: Effects of edible packaging materials on the quality of fresh okra (*Abelmoschus esculentus* L.) during storage time

Author(s): Tong Thi Anh Ngoc*, Nguyen Duc Tung and Dang Thi Thu Tam

Affiliation(s): Institute of Food and Biotechnology, Can Tho University, Viet Nam

TÓM TẮT

Đậu bắp là loại rau quả giàu dinh dưỡng, chứa nhiều vitamin, khoáng chất và hợp chất sinh học có lợi cho sức khỏe. Tuy nhiên, do hàm lượng nước cao và đặc tính hô hấp mạnh, đậu bắp rất dễ hư hỏng sau thu hoạch, dẫn đến suy giảm nhanh chất lượng cảm quan và giá trị dinh dưỡng. Việc áp dụng các phương pháp bảo quản phù hợp, đặc biệt là màng bao ăn được, là cần thiết nhằm kéo dài thời gian bảo quản và duy trì chất lượng sản phẩm. Do đó nghiên cứu được thực hiện với mục tiêu xác định ảnh hưởng của loại màng bao ăn được (đối chứng, CMC 1% và natri alginate 2%) đến chất lượng đậu bắp tươi trong quá trình bảo quản. Kết quả cho thấy việc sử dụng màng bao CMC 1% khi bảo quản đậu bắp có hiệu quả rõ rệt trong việc duy trì màu sắc và hạn chế sự suy giảm giá trị dinh dưỡng. Sau 14 ngày bảo quản ở nhiệt độ 13 ± 1 °C, hàm lượng vitamin C đạt $15,34 \pm 6,03$ mg/100 g CBK và hàm lượng chlorophyll đạt $15,60 \pm 2,35$ mg/g CBK, chứng tỏ các thành phần dinh dưỡng này vẫn được duy trì ở mức tương đối cao.

Từ khóa: Bảo quản, CMC, đậu bắp, natri alginate

ABSTRACT

Okra is a highly nutritious vegetable rich in vitamins, minerals, and bioactive compounds that are beneficial to human health. However, due to its high moisture content and high respiration rate, okra is highly perishable after harvest, resulting in rapid deterioration of sensory quality and nutritional value. The application of appropriate preservation methods, particularly edible coatings, is essential to extend shelf life and maintain product quality. Accordingly, this study was conducted to evaluate the effects of different edible coatings (control, 1% CMC, and 2% sodium alginate) on the quality of fresh okra during storage. The results indicated that the application of a 1% CMC coating effectively preserved color and minimized nutrient loss, with vitamin C (15.34 ± 6.03 mg/100 g DW) and chlorophyll (15.60 ± 2.35 mg/g DW) contents remaining at relatively high levels after 14 days of storage at 13 ± 1 °C.

Keywords: CMC, okra, preservation, sodium alginate

1. GIỚI THIỆU

Đậu bắp (*Abelmoschus esculentus L.*) là một loại rau được trồng rộng rãi trên toàn thế giới (Kumar et al., 2013). Quả đậu bắp giàu giá trị dinh dưỡng, chứa nhiều vitamin và khoáng chất thiết yếu như vitamin A, B, C, canxi, thiamin, riboflavin, kali và protein, trong khi hàm lượng chất béo rất thấp (Achebe et al., 2013). Đặc biệt, đậu bắp có hàm lượng cao chất nhầy – là polysaccharide hòa tan trong nước, hỗ trợ hoạt động tiêu hóa hiệu quả. Với đặc tính ít calo nhưng giàu chất xơ, đậu bắp được khuyến khích sử dụng trong các chế độ ăn kiêng và hỗ trợ kiểm soát cholesterol (Singh et al., 2014). Chất xơ hòa tan trong đậu bắp còn giúp làm giảm nồng độ cholesterol máu, góp phần bảo vệ sức khỏe tim mạch (Chen et al., 2015).

Tuy nhiên, đậu bắp có thời gian bảo quản ngắn, gây ra nhiều khó khăn trong quá trình lưu trữ, vận chuyển và tiêu thụ. Đậu bắp rất dễ bị lão hóa sinh lý, dẫn đến hiện tượng mất nước nhanh, mềm nhũn, héo và dễ bị hư hỏng do vi sinh vật (Shi et al., 2024; Shen et al., 2019). Nguyên nhân chính là do đậu bắp có hàm lượng ẩm cao (88 – 90%) (Shen et al., 2019; Wang et al., 2019). Hàm lượng nước cao không chỉ tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của vi sinh vật mà còn thúc đẩy các quá trình trao đổi chất, làm giảm nhanh chất lượng đậu bắp sau thu hoạch. Do đó, việc áp dụng các công nghệ bảo quản hiệu quả nhằm kéo dài thời gian sử dụng tươi và duy trì giá trị dinh dưỡng của đậu bắp là hết sức cần thiết. Trong đó, màng ăn được đã được nghiên cứu như một giải pháp tiềm năng nhằm nâng cao hiệu quả bảo quản của rau quả và trái cây, trong đó có đậu bắp. Các lớp màng này được chế tạo từ nguyên liệu có nguồn gốc thực phẩm, có thể tiêu thụ cùng với sản phẩm và góp phần kéo dài thời gian bảo quản (Kumar & Neeraj, 2019). Với cơ chế chính của màng là tạo ra hàng rào ngăn cản sự trao đổi khí và hơi ẩm, từ đó làm chậm quá trình mất nước và oxy hóa — hai yếu tố quan trọng gây suy giảm chất lượng ở nông sản (Díaz-Montes & Castro-Muñoz, 2021).

Kết quả của nhiều nghiên cứu đã nhấn mạnh hiệu quả của màng ăn được có nguồn gốc từ các biopolymer tự nhiên như polysaccharide và protein trong việc duy trì chất lượng trái cây và rau củ. Bên cạnh vai trò bảo quản, màng ăn được còn được xem như kiểu bao gói có thể tiêu thụ cùng với sản phẩm, qua đó gia tăng tính tiện lợi so với các vật liệu bao gói không ăn được vốn cần loại bỏ trước khi sử dụng. Theo Pérez-Vázquez et al. (2023), một vật liệu bao gói được xem là “ăn được” cùng thực phẩm

đó, người tiêu dùng không bắt buộc phải loại bỏ lớp màng phủ trước khi sử dụng. Đồng thời, các màng ăn được cũng được xem là lựa chọn thay thế tiềm năng cho bao bì truyền thống, góp phần giảm phụ thuộc vào vật liệu tổng hợp và giảm phát sinh chất thải bao bì, phù hợp với xu hướng tiêu dùng hiện đại hướng đến sự tiện lợi và bền vững (Díaz-Montes & Castro-Muñoz, 2021).

Trong đó, natri alginate là một polysaccharide chiết xuất từ tảo nâu và được đánh giá cao trong ứng dụng làm màng ăn được nhờ khả năng tạo màng và tính tương thích sinh học (Parreidt et al., 2018; Zhang et al., 2021). Khi tương tác với ion hóa trị hai như canxi, alginate hình thành một lớp gel bán thấm trên bề mặt rau quả, đóng vai trò như hàng rào vật lý và điều hòa quá trình hô hấp cũng như trao đổi ẩm, qua đó kéo dài thời gian bảo quản và duy trì chất lượng sản phẩm. Màng alginate đã được chứng minh có hiệu quả trong việc giảm hao hụt khối lượng, hạn chế mềm nhũn và ức chế vi sinh vật trên nhiều loại nông sản, bao gồm cả đậu bắp (Wu et al., 2024). Bên cạnh đó, carboxymethyl cellulose (CMC) là một biopolymer được ứng dụng rộng rãi trong phát triển màng ăn được nhờ khả năng hòa tan trong nước và đặc tính tạo màng hiệu quả. Màng CMC đã cho thấy khả năng giảm mất ẩm, từ đó kéo dài độ tươi của rau quả như đậu bắp (Ye et al., 2018). Việc sử dụng màng CMC cũng góp phần cải thiện độ bền cơ học và khả năng chống thấm của màng, nâng cao hiệu quả bảo quản (Sun et al., 2023).

Từ những cơ sở nêu trên, việc sử dụng các biopolymer như natri alginate và carboxymethyl cellulose (CMC) trong phát triển màng ăn được xem là một hướng tiếp cận tiềm năng nhằm nâng cao hiệu quả bảo quản đậu bắp tươi. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá tác động của các loại màng ăn được đến chất lượng của đậu bắp, từ đó xác định khả năng ứng dụng thực tiễn trong bảo quản FsoDISAU thu hoạch.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Địa điểm nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện tại Bộ môn Công nghệ Thực phẩm, Viện Công nghệ Sinh học và Thực phẩm, Đại học Cần Thơ.

2.2. Nguyên liệu

Đậu bắp trắng được mua ở ấp Tân Phước, xã Tân Bình, huyện Bình Tân, tỉnh Vĩnh Long.

Hoá chất: natri alginate ($\geq 99,0\%$, Shanghai Chemical-Trung Quốc) và carboxymethyl cellulose (CMC, $\geq 99,0\%$, Xilong Chemical-Trung Quốc).

2.3. Phương pháp thí nghiệm

Đậu bắp có độ thuần thực (sau 4 ngày rụng hoa) được thu mua và vận chuyển về phòng thí nghiệm để lựa chọn những trái có chiều dài từ 90 đến 99 mm, không bị sâu bệnh, không bị dập và xay xát. Thí nghiệm gồm mẫu đối chứng (không xử lý) và các mẫu được nhúng vào dung dịch màng CMC 1% hoặc natri alginate 2% trong 60 giây (tỷ lệ 100 g đậu bắp: 400 ml dung dịch màng). Sau đó, mẫu nhúng màng CMC 1% được để ráo tự nhiên trong 1,5 giờ và mẫu nhúng màng natri alginate 2% được để ráo trong 2,5 giờ. Sau khi ráo, 150g đậu bắp được cân và cho vào bao bì Polyethylene (PE đục lỗ, tỷ lệ đục lỗ 5%) và bảo quản ở nhiệt độ $13 \pm 1^\circ\text{C}$. Sau 4, 8, 10, 12 và 14 ngày bảo quản, việc phân tích các chỉ tiêu đã được tiến hành như sự thay đổi màu sắc (ΔE), độ ẩm, hao hụt khối lượng, độ cứng, độ Brix, pH, vitamin C và chlorophyll.

2.4. Phương pháp phân tích

Độ ẩm được xác định bằng phương pháp AOAC 934.06. Tổng chất khô hòa tan (TSS) được đo bằng Brix kế cầm tay ($0 - 32^\circ\text{Brix}$) (Atago, Nhật Bản). Hao hụt khối lượng (%) được tính dựa trên khối lượng ban đầu (M_0) và khối lượng thu được (M) theo công thức: % hao hụt khối lượng = $((M_0 - M)/M_0) \times 100$. pH được xác định bằng cách sử dụng pH kế điện tử (Vernier, Mỹ). Màu sắc được xác định bằng máy đo màu (WR10, FRU, Trung Quốc) và sự sai biệt màu sắc tổng thể (ΔE) được tính theo công thức $\Delta E = [(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2]^{1/2}$ (Saidatul et al., 2013), trong đó L^* , a^* và b^* là các giá trị màu của mẫu ở các thời điểm bảo quản, còn L_0 , a_0 và b_0 là các giá trị màu của mẫu tại thời điểm ban đầu (ngày 0). Cấu trúc (độ cứng, g/lực) được xác định bằng thiết bị phân tích Texture Analyser TA-XTplus (Stable Micro System, Anh Quốc), sử dụng đầu đo A/CKB với lực nén 0,049 N, tốc độ nén 10 mm/s. Hàm lượng vitamin C được xác định theo phương pháp của AOAC 967.21, sử dụng thuốc thử 2,6-dichlorophenol indophenol (DCIP). Hàm lượng chlorophyll (mg/g CBK) được xác định theo phương pháp của Ritchie (2006).

Số liệu được thu thập và xử lý bằng phần mềm Microsoft Excel 365 và Statgraphics Centurion XIX. Kết quả được trình bày là giá trị trung bình \pm độ lệch chuẩn và sự khác biệt ý nghĩa thống kê giữa

các nghiệm thức dựa vào phương pháp phân tích ANOVA và kiểm định LSD ở mức ý nghĩa 5%.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

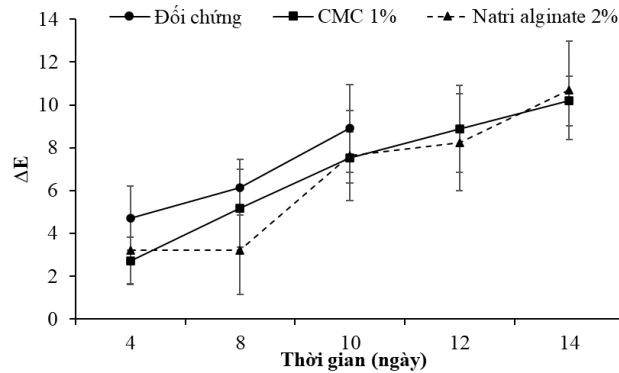
3.1. Ảnh hưởng của loại màng bao ăn được đến chất lượng đậu bắp trong quá trình bảo quản

3.1.1. Sự thay đổi màu sắc (ΔE)

Sự biến đổi màu sắc tổng thể của các nghiệm thức dưới tác động của các loại màng bảo quản khác nhau được theo dõi và trình bày ở Hình 1.

Kết quả Hình 1 cho thấy giá trị ΔE có sự khác biệt đáng kể theo thời gian bảo quản ($p < 0,05$). Giá trị ΔE có xu hướng tăng dần theo thời gian bảo quản. Sau 10 ngày bảo quản, mẫu đối chứng (không xử lý màng) được ghi nhận giá trị ΔE cao nhất, cho thấy sự biến đổi màu sắc đáng kể, với giá trị $8,90 \pm 2,05$. Ngược lại, ở ngày 10 mẫu xử lý bằng màng CMC 1% và alginate 2% có giá trị ΔE thấp hơn và không khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$), với ΔE lần lượt là $7,54 \pm 1,20$ và $7,63 \pm 2,10$. Điều này cho thấy hai loại màng có hiệu quả tương đương trong việc duy trì màu sắc của đậu bắp. Sau 14 ngày bảo quản thì không có sự khác biệt ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$) ở mẫu nhúng màng CMC 1% và natri alginate 2%.

Kết quả các nghiên cứu cho thấy màng CMC và natri alginate có thể làm chậm đáng kể sự thay đổi màu sắc của đậu bắp trong quá trình bảo quản. Các màng bao này hoạt động như màng bán thấm, hạn chế tiếp xúc với oxy và hơi ẩm — hai yếu tố thúc đẩy phân hủy diệp lục và hiện tượng hóa nâu không mong muốn (Soiklom et al., 2025; Vital et al., 2016). Nhờ đó, màu xanh đặc trưng của đậu bắp được duy trì lâu hơn, đồng thời giảm sự suy giảm về giá trị cảm quan (Coatings et al., 2023). Ngoài tác dụng giảm oxy hóa, màng CMC còn tạo môi trường ổn định về nhiệt độ và độ ẩm quanh bề mặt sản phẩm, giúp hạn chế trao đổi chất và duy trì độ tươi sáng của màu sắc (Soiklom et al., 2025). *Nhiều nghiên cứu cũng ghi nhận rằng các* mẫu bao màng có sự thay đổi nhỏ hơn về chỉ số L^* , a^* và b^* so với đối chứng (Coatings et al., 2023). Bên cạnh đó, sự tương tác giữa sắc tố tự nhiên của đậu bắp và cấu trúc polymer của màng bao (alginate, CMC) có thể bảo vệ diệp lục trước sự oxy hóa thông qua các liên kết hydro với phân tử nước, góp phần tăng cường khả năng giữ màu (Vital et al., 2016).



Hình 1. Ảnh hưởng của loại màng bảo quản đến sự thay đổi màu sắc của đậu bắp theo thời gian

Ghi chú: Kết quả thể hiện là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn. "-" mẫu đối chứng không được phân tích do đã bị hư hỏng từ ngày 12.

3.1.2. Độ ẩm (%)

Bên cạnh sự thay đổi về màu sắc, độ ẩm là một chỉ tiêu quan trọng phản ánh khả năng duy trì chất lượng của đậu bắp trong quá trình bảo quản. Kết quả về ảnh hưởng của các loại màng bảo quản đến độ ẩm của đậu bắp được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1 cho thấy độ ẩm của đậu bắp có xu hướng giảm dần theo thời gian bảo quản ở tất cả các mẫu. Ở ngày 0, giá trị độ ẩm dao động từ $89,47 \pm 0,42\%$ đến $90,45 \pm 0,53\%$ và không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các công thức ($p > 0,05$). Ở ngày 10, độ ẩm của đối chứng còn $83,47 \pm 1,08\%$, thấp hơn đáng kể so với mẫu CMC 1% ($88,04 \pm 2,06\%$) và alginate 2% ($86,79 \pm 2,26\%$), với sự khác biệt có ý nghĩa ở mức $p < 0,05$. Sau 14 ngày, độ ẩm mẫu nhúng màng CMC 1% và natri alginate 2% không có sự khác biệt ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$) với giá trị lần lượt là $86,67 \pm 1,51$ và $85,82 \pm 2,77\%$.

Kết quả cho thấy màng bao CMC 1% và natri alginate 2% đều làm chậm quá trình mất ẩm so với

đối chứng (ĐC), trong đó CMC 1% duy trì khả năng giữ ẩm ổn định hơn. Sự giảm độ ẩm ở rau quả chủ yếu do thoát hơi nước, vì rau quả có hàm lượng ẩm cao (80 – 95%) và phần lớn ở dạng tự do nên dễ bay hơi, dẫn đến hiện tượng héo theo thời gian bảo quản. Lớp màng phủ đóng vai trò như hàng rào bán thấm, góp phần hạn chế truyền ẩm và điều hòa trao đổi khí, từ đó làm chậm thoát hơi nước và hô hấp (Mahfoudhi et al., 2013; Abdullah et al., 2023). Trong nghiên cứu này, mẫu ĐC hư hỏng sau khoảng 10 ngày có thể liên quan đến mất nước làm suy giảm độ trương tế bào, khiến mô quả dễ héo và suy giảm chất lượng trong giai đoạn bảo quản kéo dài; ngược lại, các mẫu phủ màng duy trì ẩm tốt hơn nên góp phần kéo dài thời gian bảo quản và làm nổi bật hiệu quả của màng bao so với ĐC. Ngoài ra, tính chất vật liệu cũng ảnh hưởng đến hiệu quả: CMC có xu hướng cản ẩm tốt, trong khi alginate cải thiện độ bền cơ học và tính linh hoạt, hỗ trợ khả năng bám dính trên bề mặt đậu bắp (Kannaujia et al., 2019; Prommakool et al., 2011).

Bảng 1. Ảnh hưởng của loại màng bảo quản đến độ ẩm (%) của đậu bắp theo thời gian

Ngày bảo quản	Loại màng bảo quản		
	Đối chứng	CMC 1%	Natri alginate 2%
0	$89,49 \pm 0,61^{aB}$	$90,45 \pm 0,53^{aA}$	$89,47 \pm 0,42^{aB}$
4	$89,71 \pm 0,75^{aA}$	$90,11 \pm 0,26^{aA}$	$88,52 \pm 1,15^{abB}$
8	$85,87 \pm 1,94^{bA}$	$88,92 \pm 1,08^{abA}$	$87,97 \pm 3,86^{abA}$
10	$83,47 \pm 1,08^{cB}$	$88,04 \pm 2,06^{bcA}$	$86,79 \pm 2,26^{abA}$
12	-	$87,62 \pm 1,52^{bcA}$	$86,33 \pm 3,12^{bA}$
14	-	$86,67 \pm 1,51^{cA}$	$85,82 \pm 2,77^{bA}$

Ghi chú: Kết quả thể hiện là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn của 3 lần lặp lại. Các chữ cái A, B, C, ... trong cùng một hàng và a, b, c, ... trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt ý nghĩa thống kê ở mức 5%, "-" mẫu đối chứng không được phân tích do đã bị hư hỏng từ ngày 12.

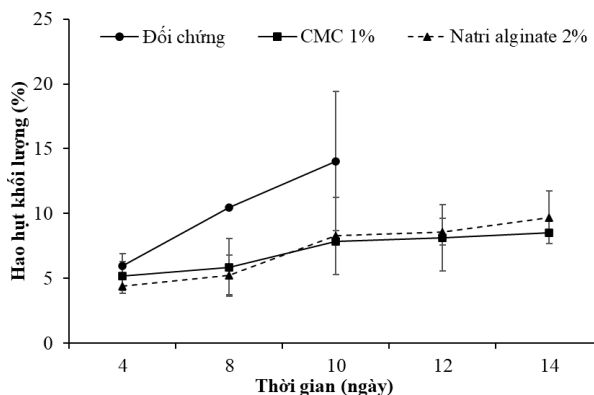
3.1.3. Hao hụt khối lượng (%)

Trong quá trình bảo quản, hao hụt khối lượng là chỉ tiêu phản ánh mức độ hô hấp và suy giảm chất lượng của nguyên liệu. Sự khác biệt về tỷ lệ hao hụt khối lượng giữa các nghiệm thức theo thời gian được thể hiện ở Hình 2.

Kết quả Hình 2 cho thấy loại màng bảo quản có ảnh hưởng đến hao hụt khối lượng của đậu bắp theo thời gian bảo quản ($p < 0,05$). Kết quả trên cho thấy rằng thời gian bảo quản càng lâu hao hụt khối lượng càng nhiều. Mẫu đậu bắp không nhúng màng hao hụt khối lượng nhiều nhất sau 10 ngày bảo quản là $14,04 \pm 5,37\%$. Với mẫu đậu bắp được nhúng màng CMC 1% và natri alginate 2% có tỉ lệ hao hụt khối lượng thấp hơn. Trong đó, với mẫu được nhúng màng CMC 1% thì hao hụt khối lượng thấp nhất sau 14 ngày bảo quản là $8,52 \pm 0,10\%$.

Sự giảm khối lượng tự nhiên của rau quả chủ yếu do mất nước (chiếm 65 – 90%), bên cạnh đó là tổn hao chất khô (10 – 35%), vốn là hệ quả của quá trình

hô hấp. Kết quả từ Bảng 1 và Hình 2 cũng cho thấy mối quan hệ thuận giữa giảm độ ẩm và tăng hao hụt khối lượng. Việc bao màng giúp hạn chế sự thoát hơi nước, giảm ảnh hưởng của nhiệt độ, độ ẩm môi trường, từ đó làm chậm hô hấp và giảm tỷ lệ hao hụt khối lượng. Cơ chế này được giải thích bởi tác dụng rào cản của màng bao, vốn che phủ khí khổng, bảo vệ tế bào và hình thành một lớp bán thấm hạn chế quá trình trao đổi khí và hơi nước (Díaz-Mula et al., 2012). Hiệu quả này đã được ghi nhận ở nhiều nghiên cứu: CMC giúp giảm mất khối lượng ở bơ (Abbasi et al., 2011) và anh đào (Maftoonazad & Ramaswamy, 2005), trong khi alginate cũng được báo cáo có tác dụng tương tự ở mận (Valero et al., 2013), anh đào ngọt (Díaz-Mula et al., 2012) và táo tươi cắt (Cofelice et al., 2019). Theo Tavassoli-Kafrani et al. (2022), CMC có khả năng chống thấm nước tốt hơn alginate, do đó mẫu natri alginate 2% tổn thất khối lượng nhiều hơn so với mẫu CMC 1%. Kết quả của nghiên cứu này phù hợp với báo cáo trên, khi sau 14 ngày bảo quản, mẫu alginate 2% có hao hụt $9,71 \pm 2,01\%$, cao hơn mẫu CMC 1%.



Hình 2. Ảnh hưởng của loại màng bảo quản đến hao hụt khối lượng (%) của đậu bắp theo thời gian

Ghi chú: Kết quả thể hiện là giá trị trung bình \pm độ lệch chuẩn. "-" mẫu đối chứng không được phân tích do đã bị hư hỏng từ ngày 12.

3.1.4. Độ cứng (g lực)

Độ cứng của đậu bắp cũng có thể thay đổi đáng kể trong thời gian bảo quản dưới tác động của các loại màng bao khác nhau. Kết quả theo dõi sự biến đổi của chỉ tiêu này ở các nghiệm thức được trình bày cụ thể ở Bảng 2. Kết quả Bảng 2 cho thấy loại màng bảo quản có ảnh hưởng rõ rệt đến độ cứng của đậu bắp theo thời gian. Nhìn chung, độ cứng của các mẫu có xu hướng tăng dần trong suốt quá trình bảo quản. Tại thời điểm ngày 0, không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa mẫu đối chứng (không nhúng màng), CMC 1% và natri alginate 2%, với giá trị lần lượt là $373,97 \pm 27,21$; $394,70 \pm 34,87$ và

$396,75 \pm 17,86$ g lực. Tuy nhiên, từ các thời điểm sau đó, mẫu đối chứng luôn có độ cứng thấp nhất so với hai mẫu được xử lý. Độ cứng của đậu bắp tăng liên tục theo thời gian khi được nhúng màng CMC 1% và natri alginate 2% ($p < 0,05$), đạt giá trị cao nhất vào ngày thứ 14, lần lượt là $638,27 \pm 34,21$ và $712,89 \pm 51,66$ g lực. Đáng chú ý, trong 12 ngày đầu bảo quản, không có sự khác biệt đáng kể giữa hai loại màng ($p > 0,05$). Tuy nhiên, đến ngày thứ 14, mẫu được bao màng natri alginate 2% cho độ cứng cao hơn đáng kể so với mẫu CMC 1% ($p < 0,05$), cho thấy hiệu quả vượt trội hơn trong giai đoạn bảo quản kéo dài.

Bảng 2. Ảnh hưởng của loại màng bảo quản đến độ cứng (g lực) của đậu bắp theo thời gian

Ngày bảo quản	Loại màng bảo quản		
	Đối chứng	CMC 1%	Natri alginate 2%
0	373,97±27,21 ^{cA}	394,70±34,87 ^{fA}	396,75±17,86 ^{fA}
4	394,97±23,72 ^{cB}	428,01±32,11 ^{eA}	453,74±29,60 ^{eA}
8	436,85±31,71 ^{bB}	511,93±34,17 ^{dA}	532,64±29,84 ^{dA}
10	482,76±45,20 ^{aB}	552,73±38,66 ^{cA}	582,17±48,52 ^{cA}
12	-	587,10±38,76 ^{bA}	634,89±77,47 ^{bA}
14	-	638,27±34,21 ^{aB}	712,89±51,66 ^{aA}

Ghi chú: Kết quả thể hiện là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn của 3 lần lặp lại. Các chữ cái A, B, C, ... trong cùng một hàng và a, b, c, ... trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt ý nghĩa thống kê ở mức 5%. “-” mẫu đối chứng không được phân tích do đã bị hư hỏng từ ngày 12.

Kết quả các nghiên cứu trước đây đã cho thấy màng ăn được có khả năng làm chậm quá trình suy giảm độ cứng của rau quả trong quá trình bảo quản thông qua việc hạn chế mất nước và giảm tốc độ hô hấp — hai yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến cấu trúc mô thực vật (Coatings et al., 2023). Màng bao từ CMC và natri alginate được đánh giá cao nhờ khả năng hình thành lớp màng bán thấm, giúp duy trì độ ẩm và ổn định môi trường nội bào, từ đó làm chậm các biến đổi sinh hóa liên quan đến sự phân giải pectin và thành tế bào (de Alvarenga Pinto Cotrim et al., 2016). Tuy nhiên, kết quả trong nghiên cứu này lại ghi nhận xu hướng tăng dần độ cứng của đậu bắp theo thời gian bảo quản, đặc biệt ở các mẫu xử lý bằng màng CMC 1% và natri alginate 2%, khác biệt có ý nghĩa thống kê so với mẫu đối chứng ($p < 0,05$). Sự khác biệt so với các báo cáo trước đây có thể xuất phát từ đặc điểm mô riêng của đậu bắp, điều kiện bảo quản cụ thể, cũng như cơ chế tác động của lớp màng. Việc trao đổi khí và hơi nước bị hạn chế có thể gây ra hiện tượng co rút tế bào và mất cân bằng áp suất thẩm thấu, dẫn đến tăng độ cứng thay vì giảm như thường quan sát ở các loại rau quả khác (Rojas-Graü et al., 2009).

3.1.5. Hàm lượng chất khô hoà tan (^oBrix)

Bên cạnh các chỉ tiêu vật lý, hàm lượng chất khô hoà tan cũng được sử dụng để đánh giá sự biến đổi chất lượng của đậu bắp trong suốt thời gian tồn trữ. Ảnh hưởng của loại màng bảo quản đến hàm lượng chất khô hoà tan của các nghiệm thức được thể hiện ở Bảng 3.

Kết quả Bảng 3 cho thấy, giá trị độ Brix của đậu bắp có xu hướng tăng dần theo thời gian bảo quản. Tại thời điểm ngày 0, giá trị ^oBrix của các mẫu đối chứng, CMC 1% và natri alginate 2% lần lượt là 4,06±0,13; 4,56±0,43 và 4,38±0,48, không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các mẫu ($p > 0,05$). Từ ngày 4 trở đi, mẫu đối chứng duy trì giá trị ^oBrix thấp hơn đáng kể so với hai mẫu được bao

màng ($p < 0,05$), cho thấy hiệu quả của màng bảo quản trong việc hạn chế hao hụt chất hòa tan. Tuy nhiên, trong suốt 14 ngày bảo quản, không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa hai loại màng CMC 1% và natri alginate 2% ($p > 0,05$).

Một trong những nguyên nhân chính dẫn đến sự gia tăng hàm lượng chất rắn hòa tan tổng số (TSS) trong quá trình bảo quản đậu bắp là hoạt động của các enzyme nội sinh như pectinase và cellulase. Các enzyme này tham gia vào quá trình phân giải thành tế bào và thủy phân polysaccharide, giải phóng đường hòa tan và các hợp chất liên quan, làm tăng TSS theo thời gian (Coatings et al., 2023). Hoạt động enzyme được thúc đẩy trong điều kiện độ ẩm ổn định, điển hình là môi trường ẩm tại bề mặt sản phẩm được duy trì bởi màng CMC và natri alginate (Lamani & Ramaswamy, 2023). CMC và natri alginate là các polysaccharide có khả năng tạo mạng lưới gel giữ nước hiệu quả, giúp duy trì độ ẩm bề mặt và tạo điều kiện thuận lợi cho các phản ứng sinh hóa nội tại (et al., 2023) (Alves-Silva et al., 2023; Vasco et al., 2022). Sự kết hợp giữa hoạt tính enzyme và đặc tính giữ ẩm của màng góp phần làm tăng tích lũy TSS ở các mẫu được xử lý so với mẫu đối chứng. Ngược lại, mẫu đối chứng không có lớp màng bảo vệ thường bị mất ẩm nhanh, làm giảm tốc độ chuyển hóa và dẫn đến phân hủy các hợp chất hòa tan. Đồng thời, màng cũng đóng vai trò như hàng rào bảo vệ chống lại các tác động môi trường, giúp hạn chế quá trình oxy hóa và bay hơi nước, từ đó ngăn ngừa suy giảm giá trị dinh dưỡng (Lamani & Ramaswamy, 2023). Ngoài khả năng giữ ẩm, CMC và natri alginate còn thể hiện tính kháng khuẩn tự nhiên, góp phần ức chế sự phát triển của vi sinh vật (Hashemi et al., 2023). Tác dụng này giúp bảo toàn cấu trúc tế bào và làm chậm quá trình phân hủy các hợp chất hòa tan, hỗ trợ duy trì hàm lượng chất khô ổn định trong suốt thời gian bảo quản (Alves-Silva et al., 2023).

Bảng 3. Ảnh hưởng của loại màng bảo quản đến hàm lượng chất khô hoà tan (^oBrix) của đậu bắp theo thời gian

Ngày bảo quản	Loại màng bảo quản		
	Đối chứng	CMC 1%	Natri alginate 2%
0	4,06±0,13 ^{aA}	4,56±0,43 ^{bA}	4,38±0,48 ^{bA}
4	4,13±0,14 ^{aB}	4,63±0,48 ^{bA}	4,72±0,34 ^{abA}
8	4,38±0,32 ^{aA}	4,81±0,24 ^{abA}	4,75±0,35 ^{abA}
10	4,44±0,38 ^{aB}	4,94±0,13 ^{abA}	4,94±0,24 ^{abA}
12	-	5,19±0,24 ^{aA}	5,06±0,31 ^{aA}
14	-	5,31±0,47 ^{aA}	5,19±0,55 ^{aA}

Ghi chú: Kết quả thể hiện là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn. Các chữ cái A, B, C, ... trong cùng một hàng và a, b, c, ... trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt ý nghĩa thống kê ở mức 5%. "-" mẫu đối chứng không được phân tích do đã bị hư hỏng từ ngày 12.

3.1.6. pH

Giá trị pH là một trong những chỉ tiêu hóa lý quan trọng, phản ánh những biến đổi sinh hóa xảy ra trong quá trình bảo quản đậu bắp. Sự thay đổi pH của các nghiệm thức được trình bày ở Bảng 4.

Kết quả Bảng 4 cho thấy, giá trị pH của đậu bắp có xu hướng giảm dần theo thời gian bảo quản. Tại thời điểm ngày 0, pH của các mẫu đối chứng, CMC 1% và natri alginate 2% lần lượt là 6,01±0,03; 6,02±0,02 và 6,10±0,02. Từ ngày 4 đến ngày 10, giá trị pH của mẫu đối chứng giảm nhẹ từ 5,94±0,03 xuống 5,90±0,03. Trong khi đó, hai mẫu được bao

màng – CMC 1% và natri alginate 2% – duy trì pH cao hơn, với mức giảm ít hơn theo thời gian. Ở ngày thứ 10, mẫu CMC 1% có pH là 5,97±0,02, trong khi natri alginate 2% giữ ở mức 5,98±0,01 – cả hai đều cao hơn đáng kể so với mẫu đối chứng ($p < 0,05$). Điều này cho thấy lớp màng bao có tác dụng làm chậm quá trình hình thành acid trong mô đậu bắp. Ở các mốc ngày 12 và 14, Mẫu CMC 1% có pH lần lượt là 5,91±0,02 và 5,84±0,03; trong khi natri alginate 2% duy trì ở mức cao hơn, lần lượt là 5,94±0,01 và 6,02±0,03.

Bảng 4. Ảnh hưởng của loại màng bảo quản đến giá trị pH của đậu bắp theo thời gian

Ngày bảo quản	Loại màng bảo quản		
	Đối chứng	CMC 1%	Natri alginate 2%
0	6,01±0,03 ^{aB}	6,02±0,02 ^{aB}	6,10±0,02 ^{aA}
4	5,94±0,03 ^{bB}	6,01±0,01 ^{abA}	6,04±0,03 ^{bA}
8	5,93±0,03 ^{bcB}	6,00±0,03 ^{bcA}	6,01±0,02 ^{cA}
10	5,90±0,03 ^{cB}	5,97±0,02 ^{cA}	5,98±0,01 ^{dA}
12	-	5,91±0,02 ^{dB}	5,94±0,01 ^{cA}
14	-	5,84±0,03 ^{cB}	6,02±0,03 ^{bcA}

Ghi chú: Kết quả thể hiện là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn của 3 lần lặp lại. Các chữ cái A, B, C, ... trong cùng một hàng và a, b, c, ... trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt ý nghĩa thống kê ở mức 5%. "-" mẫu đối chứng không được phân tích do đã bị hư hỏng từ ngày 12.

Sự biến động pH trong rau quả chủ yếu liên quan đến quá trình hô hấp và sự tích lũy acid hữu cơ trong bảo quản. Màng ăn được, đặc biệt là CMC và natri alginate, có khả năng hạn chế hiện tượng này nhờ tạo ra lớp bán thấm làm giảm tốc độ hô hấp, hạn chế sự phân hủy mô và quá trình sản sinh acid (Yinzhe & Shaoying, 2013). Kết quả nhiều nghiên cứu cũng khẳng định rằng các màng bao từ polysaccharide duy trì pH ổn định hơn so với đối chứng không phủ, qua đó kéo dài độ tươi và chất lượng sản phẩm (Coatings et al., 2023; Gallo et al., 2003). Ngoài việc giảm mất nước, màng phủ còn điều hòa môi trường quanh bề mặt quả, làm chậm quá trình trao đổi khí

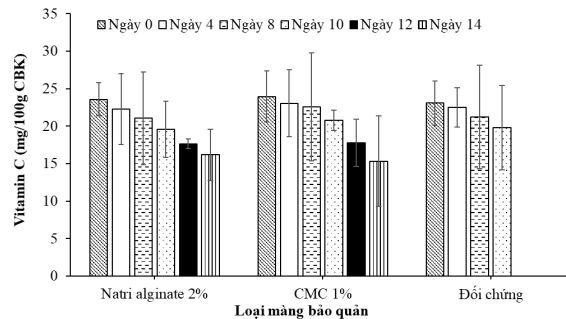
và sản sinh ethylene, từ đó hạn chế sự gia tăng acid trong mô thực vật (Tran et al., 2021). Việc duy trì pH ổn định có ý nghĩa quan trọng vì ảnh hưởng trực tiếp đến hương vị, chất lượng cảm quan và giá trị của đậu bắp trong bảo quản (Sen et al., 2020). Kết quả nghiên cứu gần đây của Al-Rashdi et al. (2024) cũng cho thấy màng bao từ polysaccharide giúp ổn định pH thông qua việc giảm tốc độ trao đổi chất và ức chế hình thành acid, góp phần duy trì hương vị và chất lượng tổng thể của rau quả.

3.1.7. Vitamin C (mg/100g CBK)

Vitamin C là một hợp chất dinh dưỡng dễ bị suy giảm trong quá trình bảo quản. Vì vậy, sự biến động hàm lượng vitamin C của đậu bắp dưới ảnh hưởng của các loại màng bảo quản được theo dõi và thể hiện ở Hình 3.

Kết quả Hình 3 cho thấy loại màng bảo quản có ảnh hưởng đến hàm lượng vitamin C của đậu bắp theo thời gian bảo quản ($p < 0,05$). Kết quả trên cũng cho thấy hàm lượng vitamin C của đậu bắp giảm đáng kể khi thời gian bảo quản tăng. Sau 14 ngày bảo quản, mẫu nhúng màng natri alginate 2% có sự giảm hàm lượng vitamin C nhiều hơn mẫu nhúng màng CMC 1% với giá trị ban đầu là $23,58 \pm 2,21$ (mg/100g CBK) và giảm còn $16,17 \pm 3,39$ (mg/100g CBK). Kết quả các nghiên cứu cho thấy màng ăn

được từ CMC và natri alginate có thể hoạt động như hàng rào chống mất ẩm hiệu quả, từ đó góp phần duy trì vitamin C – một hợp chất rất nhạy cảm với quá trình oxy hóa và phân hủy trong môi trường có độ ẩm cao (Coatings et al., 2023). Bằng cách tạo ra lớp bảo vệ bán thấm, các màng này làm giảm thoát hơi nước, hạn chế tiếp xúc với oxy và làm chậm các phản ứng enzyme, đặc biệt là hoạt động của ascorbic acid oxidase – vốn thúc đẩy sự phân hủy vitamin C. Nhờ đó, hàm lượng vitamin C trong đậu bắp được duy trì cao hơn so với mẫu không phủ trong cùng thời gian bảo quản. Cơ chế này đã được ghi nhận trong nhiều nghiên cứu về rau quả, khi màng bao từ polysaccharide giúp giảm tốc độ suy giảm vitamin C, qua đó kéo dài giá trị dinh dưỡng trong quá trình vận chuyển và bảo quản (Coatings et al., 2023).



Hình 3. Ảnh hưởng của loại màng bảo quản đến hàm lượng Vitamin C (mg/100g CBK) của đậu bắp theo thời gian

Ghi chú: Kết quả thể hiện là giá trị trung bình \pm độ lệch chuẩn. “-” mẫu đối chứng không được phân tích do đã bị hư hỏng từ ngày 12.

3.1.8. Chlorophyll (mg/g CBK)

Bên cạnh vitamin C, hàm lượng chlorophyll cũng được xem là chỉ tiêu quan trọng liên quan đến giá trị dinh dưỡng và màu sắc đặc trưng của đậu bắp. Kết quả về sự thay đổi hàm lượng chlorophyll của các nghiệm thức trong quá trình bảo quản được trình bày ở Hình 4.

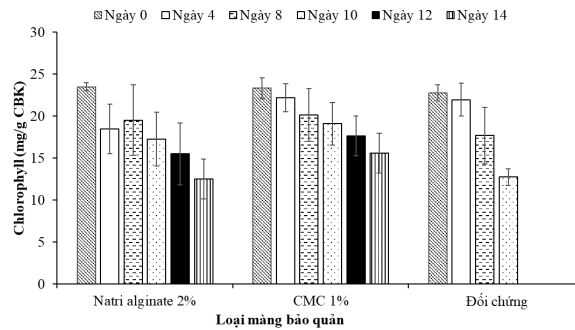
Kết quả Hình 4 cho thấy loại màng có ảnh hưởng đến hàm lượng chlorophyll của đậu bắp theo thời gian bảo quản ($p < 0,05$). Hàm lượng chlorophyll giảm dần theo thời gian bảo quản. Với mẫu đậu bắp không được nhúng màng có sự tổn thất hàm lượng chlorophyll nhiều nhất với hàm lượng chlorophyll ban đầu là $22,76 \pm 0,97$ mg/g CBK và giảm còn $12,76 \pm 0,98$ mg/g CBK sau 10 ngày bảo quản. Với mẫu đậu bắp được nhúng màng CMC 1% và natri alginate 2% thì có sự thay đổi hàm lượng chlorophyll ít hơn. Trong đó, với mẫu được nhúng màng CMC 1% thì hàm lượng chlorophyll giảm ít

nhất sau 14 ngày bảo quản từ $23,34 \pm 1,25$ mg/g CBK còn $15,60 \pm 2,35$ mg/g CBK.

Màng bảo quản từ CMC và natri alginate tạo ra một lớp rào cản bảo vệ giúp giảm sự mất ẩm, từ đó duy trì áp suất trương trong tế bào thực vật. Việc giữ ẩm này có mối tương quan với tốc độ suy giảm diệp lục chậm hơn, kết quả nhiều nghiên cứu đã cho thấy việc áp dụng các màng bao này có thể làm chậm đáng kể sự giảm hàm lượng diệp lục trong quá trình bảo quản (Coatings et al., 2023; Mahfoudhi et al., 2014). Đặc biệt, màng natri alginate được ghi nhận có tính chất ưa nước, góp phần tạo nên môi trường giúp bảo vệ hàm lượng diệp lục nhờ ngăn ngừa sự mất nước và tổn thương oxy hóa (Chan et al., 2020). Sự duy trì hàm lượng diệp lục ở đậu bắp có phụ thuộc chủ yếu nhờ giảm hoạt động trao đổi chất liên quan đến hô hấp và quá trình phân hủy enzyme của diệp lục. Đậu bắp được phủ màng thể hiện hiện tượng lão hóa sinh lý chậm hơn và giữ được màu xanh tươi lâu hơn so với mẫu không phủ, vốn bắt

đầu bạc màu và suy giảm hàm lượng diệp lục sớm hơn trong quá trình bảo quản (Coatings et al., 2023). Khả năng của CMC và natri alginate trong việc điều tiết trao đổi oxy đóng vai trò then chốt, vì sự tiếp xúc quá mức với oxy có thể dẫn đến suy giảm diệp lục thông qua cơ chế stress oxy hóa (Al-Ghalbi et

al., 2024). Ngoài ra, tính toàn vẹn cấu trúc mà màng ăn được mang lại không chỉ hỗ trợ giữ ẩm mà còn giúp hạn chế tác động từ các yếu tố môi trường có thể thúc đẩy quá trình phân hủy diệp lục (Jaborova et al., 2021).



Hình 4. Ảnh hưởng của loại màng bảo quản đến hàm lượng Chlorophyll (mg/g CBK) của đậu bắp theo thời gian

Ghi chú: Kết quả thể hiện là giá trị trung bình \pm độ lệch chuẩn. “-” mẫu đối chứng không được phân tích do đã bị hư hỏng từ ngày 12.





CMC 1% ngày 12



Natri alginate 2% ngày 12



CMC 1% ngày 14



Natri alginate 2% ngày 14

Hình 5. Đậu bắp theo thời gian bảo quản

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy trong điều kiện bảo quản $13 \pm 1^\circ\text{C}$, cả hai loại màng ăn được CMC 1% và natri alginate 2% đều giúp duy trì chất lượng đậu bắp tốt hơn mẫu đối chứng. Tuy nhiên, màng CMC 1% cho hiệu quả ổn định và phù hợp hơn để lựa chọn ứng dụng, đặc biệt ở giai đoạn bảo quản kéo dài đến 14 ngày, nhờ xu hướng giữ ẩm tốt hơn, hao hụt khối

lượng thấp hơn và duy trì giá trị dinh dưỡng ở mức cao với hàm lượng vitamin C và chlorophyll vẫn đạt lần lượt $15,34 \pm 6,03$ mg/100 g CBK và $15,60 \pm 2,35$ mg/g CBK. Việc ứng dụng màng CMC 1% không chỉ hạn chế tổn thất sau thu hoạch mà còn kéo dài thời gian tiêu thụ và nâng cao giá trị thương phẩm của sản phẩm. Đây là giải pháp bảo quản an toàn, hiệu quả và thân thiện với môi trường, có tiềm năng ứng dụng trong thực tiễn bảo quản nông sản tươi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Abbasi, K. S., Anjum, N., Sammi, S., Masud, T., & Ali, S. (2011). Effect of coatings and packaging material on the keeping quality of mangoes (*Mangifera indica* L.) stored at low temperature. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(2), 129-138. <https://doi.org/10.3923/pjn.2011.129.138>
- Abdullah, A. H., Awad-Allah, M. A. A., Abd-Elkarim, N. A. A., Ahmed, Z. F. R., & Taha, E. M. A. (2023). Carboxymethyl cellulose from banana rachis: a potential edible coating to extend the shelf life of strawberry fruit. *Agriculture (Switzerland)*, 13(5), 1058. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051058>
- Achebe, U. A., Obidiebube, E. A., Akparobi, S. O., & Nwachuckwu, E. F. (2013). Effect of different levels of N: P: K (20: 10: 10) fertilizer on the growth and yield of six okra cultivars in Asaba soils. *International Journal of Agricultural Science*, 3(9), 689-698.
- Al-Ghalbi, S., Athafa, Q., & Al-Rubaie, E. (2024). Effect of the Hormone Brassinolide and the Polymer Hydrogel on the Biochemistry Traits of Okra (*Abelmoschus Esculentus* L.) under Two Different Irrigation Periods. *Veterinary Medicine and Public Health Journal*, 5, 103–112. <https://doi.org/10.31559/VMPH2024.5.2.10>
- Al-Rashdi, S., Al-Subhi, N., Al-Dairi, M., & Pathare, P. B. (2024). Effect of a Moringa oil–Beeswax edible coating on the shelf-life and quality of fresh cucumber. *Processes*, 12(6), 1148. <https://doi.org/10.3390/pr12061148>
- Alves-Silva, G. F., Santos, L. G., Romani, V. P., & Martins, V. G. (2023). Effects of biodegradable and active sachets based on sodium alginate and Macaúba (*Acrocomia aculeata*) pulp extract on the quality of olive oil. *Journal of Applied Polymer Science*, 140(26), e53995. <https://doi.org/10.1002/app.53995>
- Chan, H. M., Nyam, K. L., Yusof, Y. A., & Pui, L. P. (2020). Investigation of properties of polysaccharide-based edible film incorporated with functional melastoma malabathricum extract. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 12(1), 120-134. <https://doi.org/10.34302/crpjfst/2020.12.1.12>

- Chen, Y., Zhang, B. C., Sun, Y. H., Zhang, J. G., Sun, H. J., & Wei, Z. J. (2015). Physicochemical properties and adsorption of cholesterol by okra (*Abelmoschus esculentus*) powder. *Food and Function*, 6(12), 3728-3736. <https://doi.org/10.1039/c5fo00600>
- Coatings, E., Gonzales, L. M. R., & Benitez, M. M. (2023). Physicochemical and Physiological Properties of Okra [*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench] Fruits Coated with Polysaccharide-Based. *Mindanao Journal of Science and Technology*, 21(2), 153-177. <https://doi.org/10.61310/mjst.v21i2.1717>
- Cofelice, M., Lopez, F., & Cuomo, F. (2019). Quality control of fresh-cut apples after coating application. *Foods*, 8(6), 189. <https://doi.org/10.3390/foods8060189>
- de Alvarenga Pinto Cotrim, M., Mottin, A. C., & Ayres, E. (2016). Preparation and Characterization of Okra Mucilage (*Abelmoschus esculentus*) Edible Films. *Macromolecular Symposia*, 367(1), 90-100. <https://doi.org/10.1002/masy.201600019>
- Díaz-Montes, E., & Castro-Muñoz, R. (2021). Edible films and coatings as food-quality preservers: An overview. *Foods*, 10(2), 249. <https://doi.org/10.3390/foods10020249>
- Díaz-Mula, H. M., Serrano, M., & Valero, D. (2012). Alginate coatings preserve fruit quality and bioactive compounds during storage of sweet cherry fruit. *Food and Bioprocess Technology*, 5(8), 2990-2997. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0599-2>
- Gallo, J. A. Q., Amaro, M. R. D., Debeaufort, F., Voilley, A., Cabrera, D. M. B. G., & Álvarez, M. A. C. (2003). Application of edible coatings to improve the shelf-life of mexican Guava. *Acta Horticulturae*, 599, 589-594.
- Hashemi, M., Aminzare, M., Hassanzadazar, H., Roohinejad, S., Taheroghabi, R., & Bekhit, A. E. D. A. (2023). Impact of sodium alginate-based film loaded with resveratrol and thymol on the shelf life of cooked sausage and the inoculated *Listeria monocytogenes*. *Food Science and Nutrition*, 11(12), 7855-7869. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3702>
- Jaborova, D., Annapurna, K., Al-Sadi, A. M., Alharbi, S. A., Datta, R., & Zuan, A. T. K. (2021). Biochar and Arbuscular mycorrhizal fungi mediated enhanced drought tolerance in Okra (*Abelmoschus esculentus*) plant growth, root morphological traits, and physiological properties. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(10), 5490-5499. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.016>
- Kannaujia, P. K., Asrey, R., Singh, A. K., & Varghese, E. (2019). Effect of gum Arabic and fruwash coatings on postharvest quality of summer squash (*Cucurbita pepo*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 89(10), 1604-1608. <https://doi.org/10.56093/ijas.v89i10.94587>
- Kumar, N., & Neeraj. (2019). Polysaccharide-based component and their relevance in edible film/coating: a review. *Nutrition and Food Science*, 49(5), 793-823. <https://doi.org/10.1108/NFS-10-2018-0294>
- Lamani, N. A., & Ramaswamy, H. S. (2023). Composite alginate-ginger oil edible coating for fresh-cut pears. *Journal of Composites Science*, 7(6), 245. <https://doi.org/10.3390/jcs7060245>
- Maftoonazad, N., & Ramaswamy, H. S. (2005). Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coating. *LWT*, 38(6), 617-624. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.08.007>
- Mahfoudhi, N., Chouaibi, M., & Hamdi, S. (2014). Effectiveness of almond gum trees exudate as a novel edible coating for improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits. *Food Science and Technology International*, 20(1), 33-43. <https://doi.org/10.1177/1082013212469617>
- Parreidt, T. S., Müller, K., & Schmid, M. (2018). Alginate-based edible films and coatings for food packaging applications. *Foods*, 7(10), 170. <https://doi.org/10.3390/foods7100170>
- Perez-Vazquez, A., Barciela, P., Carpena, M., Prieto, M. A., Perez-Vazquez, A., Barciela, P., Carpena, M., & Prieto, M. A. (2023). Edible coatings as a natural packaging system to improve fruit and vegetable shelf life and quality. *Foods*, 12(19), 3570. <https://doi.org/10.3390/foods12193570>
- Prommakool, A., Sajjaanantakul, T., Janjarasskul, T., & Krochta, J. M. (2011). Whey protein-okra polysaccharide fraction blend edible films: Tensile properties, water vapor permeability and oxygen permeability. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(2), 362-369. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4194>
- Ritchie, R. J. (2006). Consistent sets of spectrophotometric chlorophyll equations for acetone, methanol and ethanol solvents. *Photosynthesis Research*, 89(1), 27-41. <https://doi.org/10.1007/s11120-006-9065-9>
- Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 20(10), 438-447. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.05.002>
- Saidatul, S. W. K. W., Noriham, A., Zainal, S., Khairusy, S. Z., & Nurain, A. (2013). Impact of non-thermal processing on antioxidant activity,

- phenolic content, ascorbic acid content and color of winter melon puree. *International Food Research Journal*, 20(2), 633-638.
- Sen, P., Rafi, K. N. S., Uddin, Z., & Aziz, M. G. (2020). Evaluation of Postharvest Shelf Life and Quality of Lemon Treated with Different Coatings during Storage. *Food Science and Engineering*, 1(2), 82-93.
<https://doi.org/10.37256/fse.122020463>
- Shen, D. D., Li, X., Qin, Y. L., Li, M. T., Han, Q. H., Zhou, J., Lin, S., Zhao, L., Zhang, Q., Qin, W., & Wu, D. T. (2019). Physicochemical properties, phenolic profiles, antioxidant capacities, and inhibitory effects on digestive enzymes of okra (*Abelmoschus esculentus*) fruit at different maturation stages. *Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1275-1286.
<https://doi.org/10.1007/s13197-019-03592-1>
- Shi, L., Cao, M., Lu, X., Dong, W., Lan, Q., Chen, W., Yang, Z., Li, X., & Cao, S. (2024). Melatonin extends shelf life in postharvest okra via delaying fruit softening and reducing weight loss. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(15), 9506-9513.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.13773>
- Singh, P., Chauhan, V., Tiwari, B. K., Chauhan, S. S., Simon, S., Bilal, S., & Abidi, A. B. (2014). An overview on okra (*Abelmoschus esculentus*) and its importance as a nutritive vegetable in the world. *International Journal of Pharmacy and Biological Science*, 4(2), 227-233.
- Soiklom, S., Siri-Anusornsak, W., Petchpoung, K., Soiklom, S., & Maneeboon, T. (2025). Development of Bioactive Edible Film and Coating Obtained from Spirogyra sp. Extract Applied for Enhancing Shelf Life of Fresh Products. *Foods*, 14(5), 804.
<https://doi.org/10.3390/foods14050804>
- Sun, J., Wang, L., Chen, H., & Yin, G. (2023). Preparation and application of edible film based on sodium carboxymethylcellulose-sodium alginate composite soybean oil body. *Coatings*, 13(10), 1716.
<https://doi.org/10.3390/coatings13101716>
- Tavassoli-Kafrani, E., Gamage, M. V., Dumée, L. F., Kong, L., & Zhao, S. (2022). Edible films and coatings for shelf life extension of mango: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(9), 2432-2459.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1853038>
- Tran, T. T. B., Vu, Q. Le, Pristijono, P., Kirkman, T., Nguyen, M. H., & Vuong, Q. Van. (2021). Optimizing conditions for the development of a composite film from seaweed hydrocolloids and pectin derived from a fruit waste, gac pulp. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(11), e15905.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.15905>
- Valero, D., Díaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., & Serrano, M. (2013). Effects of alginate edible coating on preserving fruit quality in four plum cultivars during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 77, 1-6.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.10.011>
- Vasco, M. F., Campañone, L. A., & Gamboa-Santos, J. (2022). Formulation of edible films based on carboxymethyl cellulose, cassava starch, and alginate using high-intensity ultrasound emulsification treatments. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(4), e16417.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.16417>
- Vital, A. C. P., Guerrero, A., Monteschio, J. D. O., Valero, M. V., Carvalho, C. B., De Abreu Filho, B. A., Madrona, G. S., & Do Prado, I. N. (2016). Effect of edible and active coating (with rosemary and oregano essential oils) on beef characteristics and consumer acceptability. *PLoS ONE*, 11(8), e0160535.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160535>
- Wang, H., Zhao, Q., & Zhao, B. (2019). Comparison of drying methods on drying efficiency and physicochemical quality of okra (*Abelmoschus esculentus*) cultivated in China. *Journal of Food Process Engineering*, 42(6), e13163.
<https://doi.org/10.1111/jfpe.13163>
- Wu, P., Ding, K., Nie, F., & Wei, M. (2024). Characterization of sodium alginate-based edible active coating incorporated with dendrobium officinale polysaccharides and its application in grape packaging. *Starch/Staerke*, 76(5-6), 2200258.
<https://doi.org/10.1002/star.202200258>
- Ye, J., Ma, D., Qin, W., & Liu, Y. (2018). Physical and antibacterial properties of sodium alginate-sodium carboxymethylcellulose films containing lactococcus lactis. *Molecules*, 23(10), 2645.
<https://doi.org/10.3390/molecules23102645>
- Yinzhe, R., & Shaoying, Z. (2013). Effect of carboxymethyl cellulose and alginate coating combined with brewer yeast on postharvest grape preservation. *International Scholarly Research Notices*, 2013(1), 871396.
<https://doi.org/10.1155/2013/871396>
- Zhang, G., Guan, T., Zhang, J., & Zhang, T. (2021). Theoretical and experimental investigation of sodium alginate composite films containing star anise ethanol extract/hydroxypropyl-β-cyclodextrin inclusion complex. *Journal of Food Science*, 86(2), 434-442.
<https://doi.org/10.1111/1750-3841.15564>