

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO MÀNG CHITOSAN/SiO₂/ANTHOCYANIN ĐỂ CHỈ THỊ CHẤT LƯỢNG Tôm TƯƠI TRONG QUÁ TRÌNH BẢO QUẢN

PREPARATION OF CHITOSAN/SiO₂/ANTHOCYANIN FILMS FOR QUALITY INDICATOR OF FRESH SHRIMP DURING STORAGE

Sử Chấn Minh Châu¹, Võ Thành Long², Nguyễn Văn Hòa^{1*}

1. Khoa Công nghệ thực phẩm, Trường Đại học Nha Trang

2. Khoa Giáo dục nghề nghiệp, Trường Trung cấp nghề Diên Khánh

Tác giả liên hệ: Nguyễn Văn Hòa, (Email: hoanv@ntu.edu.vn)

Ngày nhận bài: 29/07/2025; Ngày phản biện thông qua: 29/08/2025; Ngày duyệt đăng: 20/09/2025

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, màng chỉ thị chitosan/nano-SiO₂ có chứa anthocyanin (ACN) đã được chế tạo thành công. Trong đó, chitosan và nano-SiO₂ được thu nhận lần lượt từ vỏ tôm và vỏ trấu, anthocyanin được chiết từ vỏ thanh long. Trong các mẫu thu được, màng tổ hợp với tỷ lệ CTS/SiO₂/ACN 10:1,5:8 có tính chất cơ lý tốt nhất với độ dày trung bình $0,32 \pm 0,08$ mm, độ bền kéo $0,57 \pm 0,01$ MPa và độ trương nở ~320% sau 60 phút. Màng thu được này có khả năng thay đổi màu sắc tốt theo pH và được sử dụng theo dõi sự thay đổi chất lượng của tôm tươi bảo quản trong 30 giờ ở nhiệt độ phòng. Kết quả cho thấy màng chỉ thị có độ nhạy tốt, qua đó mở ra một định hướng ứng dụng sản phẩm vào nhận biết chất lượng tôm tươi trong quá trình bảo quản.

Từ khóa: Chitosan, nano-SiO₂, Anthocyanin, màng chỉ thị, bảo quản tôm tươi

ABSTRACT

In this study, a pH-responsive color indicator film of chitosan/nano-SiO₂ contained anthocyanin (ACN). Chitosan and nano-SiO₂ were recovered from shrimp shells and rice husks, respectively; anthocyanin was extracted from dragon fruit shells. Among the obtained samples, the composite film with a CTS/SiO₂/ACN ratio of 10:1.5:8 had the best physical and mechanical properties with an average thickness of 0.22 ± 0.08 mm, tensile strength of 0.59 ± 0.03 MPa and swelling of ~320% after 10 minutes. The obtained film contained a pH-responsive color indicator and was used to monitor the quality changes of fresh shrimp stored for 30 h at room temperature. The results showed that the resulting indicator film had good sensitivity, indicating a promising direction for product application in identifying the quality of fresh shrimp during storage.

Keywords: Chitosan, nano-SiO₂, Anthocyanin, indicative film, fresh shrimp storage

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thanh long ruột trắng (*Hylocereus undatus*, họ Cactaceae) là loại quả nhiệt đới phổ biến ở Việt Nam, trong đó vỏ thường bị bỏ đi sau chế biến, tạo ra một nguồn phế phụ phẩm dồi dào. Các nghiên cứu gần đây cho thấy vỏ thanh long chứa hàm lượng đáng kể các sắc tố tự nhiên, trong đó có anthocyanin khi chiết bằng dung môi acid hóa [1]. Anthocyanin là một loại flavonoid tự nhiên, không chỉ tạo nên màu sắc hấp dẫn cho trái cây mà còn mang lại nhiều lợi ích sức khỏe vượt trội [2]. Anthocyanin có tác dụng chống oxy hóa, giảm viêm, và ngăn ngừa sự phát triển của các tế bào ung thư [3]. Một quy trình chiết xuất bằng ethanol kết hợp siêu âm cho thấy hiệu suất thu hồi anthocyanin đạt

khoảng 0,472 mg/g vỏ khô, đồng thời sắc tố thể hiện độ ổn định màu cao (>95% giữ màu sau 24 giờ) và khả năng ức chế sự phát triển của tế bào ung thư biểu mô da [4]. Ngoài ra, khi sử dụng dung môi methanol/acid acetic, các anthocyanin như cyanidin-3-O-glucoside, cyanidin-3,5-O-glucoside và pelargonidin-3,5-O-glucoside cũng được xác định trong vỏ thanh long với hàm lượng lên tới $44,39 \pm 1,31$ mg/100 g [5]. Mặt khác, anthocyanin có dải màu trải rộng từ đỏ đến xanh tùy theo pH của môi trường, do đó được nghiên cứu ứng dụng làm chất chỉ thị pH. Các nghiên cứu cho thấy anthocyanin có thể được chiết xuất từ vỏ hạt đậu phộng, gạo đen, dâu tằm, khoai lang tím và đã được kết hợp với các polyme để tạo ra

màng chỉ thị nhận biết khá hiệu quả chất lượng của các sản phẩm thực phẩm [6-9]. Tuy nhiên, cho đến nay vẫn chưa có một nghiên cứu nào chế tạo màng chỉ thị tổ gồm các thành phần (chitosan, nano-SiO₂ và anthocyanin) được tách chiết hoàn toàn từ nguồn tự nhiên như vỏ tôm, vỏ trấu và vỏ thanh long. Chitosan có vai trò làm chất nền và hấp phụ anthocyanin của màng, trong khi SiO₂ có vai trò gia cường cho màng.

Trong nghiên cứu này, màng chỉ thị chitosan/nano-SiO₂ kết hợp với anthocyanin chiết xuất từ vỏ thanh long ruột trắng được chế tạo định hướng theo dõi chất lượng tôm tươi khi bảo quản thông qua sự thay đổi màu sắc của thành phần anthocyanin theo pH. Ngoài ra, chitosan có tính kháng khuẩn tự nhiên thu được từ vỏ tôm, giúp ngăn ngừa sự phát triển của vi sinh vật gây hại, làm tăng tuổi thọ sản phẩm màng chỉ thị xuyên suốt thời gian bảo quản. Ngoài ra, nano-SiO₂ thu nhận từ vỏ trấu giúp tăng cơ tính của màng tổ hợp thu được.

II. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Vật liệu

Vỏ trấu được thu nhận từ nhà máy xay xát, đóng vào túi nilong. Thanh long ruột trắng được mua từ chợ Vĩnh Thọ, Nha Trang vào tháng 9/2024, đóng túi nilong và được bảo quản ở tủ đông trước khi chiết. Chitosan thu nhận từ vỏ tôm (độ deacetyl >90%, khối lượng phân tử ~155 kDa). Các hóa chất khác dùng nghiên cứu đều thuộc loại tinh khiết phân tích.

2. Phương pháp nghiên cứu

Sơ đồ bố trí thí nghiệm tổng quát chế tạo màng chỉ thị chitosan/SiO₂/anthocyanin được mô tả trong Hình 1.

2.1. Thu nhận anthocyanin

Vỏ thanh long được rửa sạch, sấy khô và cắt thành miếng nhỏ (1 × 1 cm). Anthocyanin được trích ly bằng thiết bị đồng hóa Sử dụng 2 dung môi khác nhau gồm: (1) dung dịch 1% HCl trong nước và (2) hỗn hợp ethanol/nước (1:1 v/v) có chứa 1% HCl và cố định tỷ lệ nguyên liệu/dung môi là 1:2 (g/mL), ở nhiệt độ 60°C trong vòng 60 phút. Sau khi lọc bỏ phần rắn,

dịch chiết được cô quay chân không để nhận anthocyanin. Quy trình này dựa trên kết quả từ nghiên cứu trước đây có điều chỉnh [7].

2.2. Thu nhận nano-SiO₂

Vỏ trấu được rửa sạch, sấy và đem nung ở 700°C trong thời gian 4 giờ thu được tro. Sau đó, tro trấu được cho vào dung dịch NaOH 1M, tỷ lệ tro/dung dịch 1:2 (w/v), lọc loại bỏ chất không tan. Nhỏ từ từ dung dịch HCl 1 M và dịch lọc đến pH ~ 7, xuất hiện kết tủa. Lọc và sấy ở 60°C trong 12 giờ, thu được bột nano SiO₂ [10].

2.3. Thu nhận chitosan từ vỏ tôm

Vỏ tôm được rửa sạch, khử khoáng bằng HCl 3%, khử protein bằng NaOH 4% thu được chitin. Sau đó chitin được cho vào dung dịch NaOH 12,5 M, tỷ lệ chitin/dung dịch 1:5 (w/v), phản ứng ở 90°C trong 24 giờ. Sản phẩm được rửa, sấy khô thu được chitosan [11].

2.4. Chế tạo màng chỉ thị

Màng CTS/ACN/SiO₂ được chế tạo theo phương pháp đổ khuôn và sấy khô chân không ở nhiệt độ phòng (25 – 28°C), áp suất 76 cmHg. Ba loại màng với các tỷ lệ thành phần CTS/SiO₂/ACN khác nhau là 10:8:1,5 (M1); 7,5:6:1,5 (M2); 5:4:1,5 (M3).

2.5. Đánh giá tính chất nguyên liệu và sản phẩm

Độ dày màng đã chế tạo được xác định bằng thước Panmer điện tử, độ chính xác 0,01 mm. Độ dày màng được đo ở 10 vị trí ngẫu nhiên trên màng rồi lấy kết quả trung bình. Độ bền kéo được xác định trên Máy đo lưu biến (Sun Rheo Meter, CR-500DX). Kích thước mẫu: 50 × 15 mm (dài × rộng).

$$\delta \text{ (MPa)} = \frac{F}{A}$$

Trong đó, F là lực tác dụng cực đại (N); A là tiết diện cắt ngang của mẫu (mm²); δ : là độ bền kéo (MPa).

Chỉ số trương nở được xác định bằng phương pháp khối lượng: Màng được cắt thành các mẫu có kích thước 3×3 cm, được cân rồi ngâm trong 100 mL nước cất ở nhiệt độ phòng. Sau thời gian ngâm (0,5; 1; 2; 5; 10; 15 và 20

phút), các mẫu được lấy ra, làm khô bề mặt sử dụng giấy lọc để thấm và cân. Chỉ số trương nở (SI) được tính theo công thức:

$$SI (\%) = \frac{m_1 - m_0}{m_0} * 100\%$$

Trong đó: m_0 , m_1 : là khối lượng của mẫu trước và sau khi ngâm (g); SI: chỉ số trương nở (%).

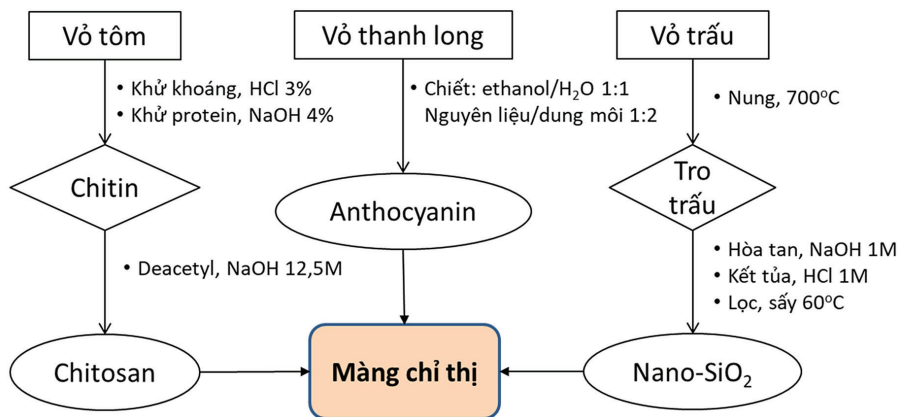
Cấu trúc hóa học của màng được xác định bằng cách đo quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR, Nicolet iS10, Thermo Scientific). Độ kết tinh và kích thước của SiO_2 được xác định trên phổ nhiễu xạ tia X (X'Pert-PRO MPD, PANalytical) sử dụng tia chiếu xạ Cu K α ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$) với hiệu điện thế 40 kV

và kính hiển vi điện tử quét (SEM, Hitachi, S-4800).

Khảo sát sự thay đổi màu sắc theo pH: Màng được cắt thành các mảnh kích thước $2 \times 2 \text{ cm}$ và ngâm ở trong dung dịch đệm có các giá trị pH 1 đến 13. Sự biến đổi màu sắc của màng có thể được theo dõi và ghi lại trong khoảng thời gian 30 giây. Màu sắc của cả màng và dung dịch đệm được xác định bằng cách sử dụng máy ảnh. Ngoài ra, thử nghiệm đặt màng trong hộp kín có chứa tôm tươi và được bảo quản trong 30 giờ.

3. Xử lý số liệu

Các số liệu và đồ thị được xử lý trên phần mềm Origin 10.0.



Hình 1. Sơ đồ minh họa chế tạo màng chitosan/ SiO_2 /anthocyanin để chỉ thị chất lượng tôm tươi.

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thu nhận anthocyanin từ vỏ thanh long

Anthocyanin được chiết từ vỏ thanh long sử dụng 2 dung môi khác có chứa 1% HCl và cố định tỷ lệ nguyên liệu/dung môi. Việc bổ sung acid HCl giúp ổn định cấu trúc của anthocyanin (dạng flavylium cation) và tăng cường khả năng hòa tan của chúng vào dung môi [5] Kết quả cho thấy hàm lượng ACN thu được đối với hệ (1) và (2) lần lượt là $248,91 \pm 5,93$ và $519,17 \pm 18,01 \text{ mg/L}$. Điều này có thể giải thích do độ phân cực và hằng số điện môi của hỗn hợp ethanol (độ phân cực 5,2D) và nước tương ứng với anthocyanin, do đó có khả năng hòa tan tốt anthocyanin tốt hơn so với dung môi nước tinh khiết. Ngoài ra, nước là một dung môi phân cực tốt (độ phân cực 9,0D)

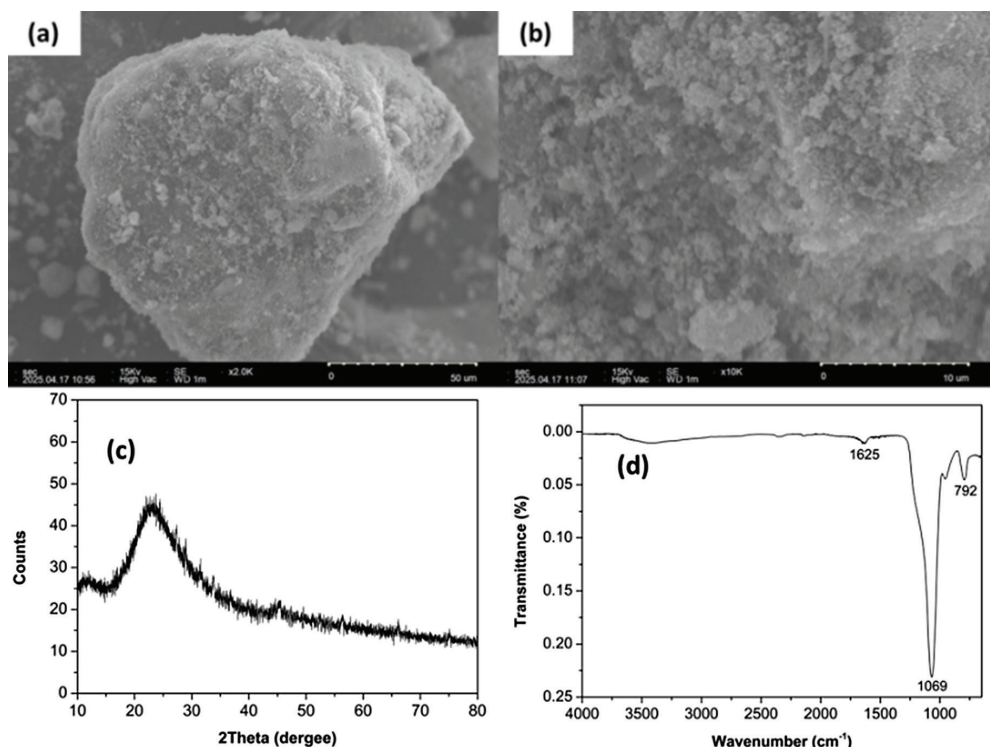
nhưng có thể kém hiệu quả hơn trong việc phá vỡ các liên kết giữa anthocyanin và các thành phần khác trong vỏ thanh long. Do đó, hiệu quả chiết xuất có thể thấp hơn so với hệ dung môi chứa ethanol và nước.

3.2. Thu nhận nano SiO_2 từ vỏ trấu

Quá trình tách SiO_2 từ tro trấu bằng dung dịch kiềm và kết tủa bằng dung dịch acid theo các phản ứng sau:



Tính chất của sản phẩm nano SiO_2 được xác định bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM), nhiễu xạ tia X (XRD) và phổ hồng ngoại FTIR trong Hình 2.



Hình 2. (a,b) Ảnh SEM với độ phân giải khác nhau, (b) giản đồ XRD và (c) phổ FTIR của nano SiO₂ thu được từ vỏ trấu.

Hình 2a và 2b cho thấy ảnh chụp SEM của mẫu bột SiO₂ thu được từ tro trấu với độ phóng đại 2.000 và 10.000 lần khi nung trấu ở 700°C. Kết quả cho thấy hình thái học của SiO₂ thu được không đồng nhất có dạng hạt và có sự kết tụ các hạt với nhau thành một khối lớn. Đây chính là xu hướng tương tác của các hạt khi ở kích thước nanomet. Ở độ phóng đại 10.000 có thể thấy được kích thước cỡ < 50 nm của hạt SiO₂. Kết quả này khá tương đồng khi sử dụng một công cụ khác để xác định kích thước của hạt SiO₂ thu được đó là giản đồ XRD (Hình 2c). Giản đồ XRD của mẫu bột SiO₂ thu được từ tro trấu (Hình 2c) có hai đỉnh đặc trưng cho SiO₂ ở vị trí 2θ 11.5° và 22.5°. Đỉnh thứ 2 đặc trưng cho tính chất vô định hình của sản phẩm thu được [12]. Xác định độ rộng trung bình của đỉnh thứ hai và các thông số từ máy đo, áp dụng công thức Debye–Sherrer, kích thước trung bình của các hạt nano SiO₂ tính được khoảng 35 nm. Hình 2d là phổ FTIR của hạt nano-SiO₂ thu từ tro trấu. Kết quả cho thấy phổ FTIR của hạt SiO₂ có các đỉnh phổ tại số sóng 792 và

1069 cm⁻¹, đây là các đặc trưng của dao động đối xứng và bất đối xứng của liên kết Si-O-Si. Vùng phổ có số sóng trong khoảng 1625 cm⁻¹ là dao động uốn của phân tử nước (O-H) bao quanh hạt nano SiO₂. Không có đỉnh nào xuất hiện trong khoảng 2500 – 3000 cm⁻¹, cho thấy rằng không còn tạp chất hữu cơ trong mẫu bột SiO₂ thu được. Điều đó cũng chứng tỏ SiO₂ thu được khá tinh khiết.

3.3. Tính chất màng chitosan/SiO₂/anthocyanin

Kết quả cho thấy màng M1 có màu và hình dáng bề mặt phẳng, ổn định, khả năng thay đổi màu theo pH tốt hơn hai màng còn lại.

Độ dày của 3 mẫu màng được xác định bằng thước panme tại 10 vị trí khác nhau và được trình bày trong Bảng 2. Kết quả cho thấy độ dày trung bình của các màng thu được phụ thuộc vào lượng chitosan ban đầu, khi lượng chitosan lớn thì màng thu được dày hơn. Đối với mỗi loại màng, thì độ dày của các vị trí không giống nhau. Điều này có thể do sự phân bố SiO₂ chưa đồng nhất và quá trình bay hơi trong tủ sấy chân không diễn ra quá nhanh, không đồng đều.

Bảng 2. Độ dày của các loại màng khác nhau

Vị trí	Độ dày M1 (mm)	Độ dày M2 (mm)	Độ dày M 3 (mm)
1	0,48	0,20	0,05
2	0,34	0,23	0,12
3	0,31	0,32	0,21
4	0,38	0,33	0,19
5	0,22	0,09	0,11
6	0,32	0,13	0,11
7	0,37	0,24	0,11
8	0,18	0,23	0,07
9	0,13	0,31	0,24
10	0,41	0,18	0,19
Giá trị trung bình	$0,32 \pm 0,08$	$0,23 \pm 0,08$	$0,14 \pm 0,06$

Bảng 3 trình bày lực kéo đứt màng tối đa (N), độ bền kéo (Mpa) của màng được chế tạo từ CTS, ACN và SiO₂ theo các tỷ lệ khác nhau. Kết quả phân tích cho thấy tỷ lệ các thành phần có ảnh hưởng đáng kể đến lực kéo đứt màng. Tỷ lệ CTS cao tạo ra màng có xu hướng bền hơn. SiO₂ có vai trò tăng cường cấu trúc màng như là phần cốt trong màng vật liệu tổ hợp CTS/SiO₂. Kết quả chứng minh độ bền kéo

của màng phụ thuộc vào tỷ lệ của các thành phần trong màng. Hàm lượng chitosan cao có xu hướng dẫn đến độ bền kéo tốt hơn. CTS và SiO₂ đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp độ bền cơ học cho màng, tỷ lệ CTS cao hơn tạo khung polyme liên tục và vững chắc hơn. Điều này có thể giải thích do các chuỗi phân tử CTS có các liên kết hydro với nhau và cả liên kết hydro nội phân tử.

Bảng 3. Kết quả độ bền kéo của 3 tỷ lệ màng của 3 lần đo

Mẫu	Tham số đo	Giá trị đo trung bình
M1	Lực kéo cực đại trước khi đứt (N)	$2,71 \pm 0,46$
	Tiết diện cắt ngang (mm ²)	$4,71 \pm 0,21$
	Độ bền kéo (Mpa)	$0,57 \pm 0,10$
M2	Lực kéo cực đại trước khi đứt (N)	$2,01 \pm 0,11$
	Tiết diện cắt ngang (mm ²)	$3,39 \pm 0,35$
	Độ bền kéo (Mpa)	$0,59 \pm 0,03$
M3	Lực kéo cực đại trước khi đứt (N)	$1,26 \pm 0,49$
	Tiết diện cắt ngang (mm ²)	$2,10 \pm 0,24$
	Độ bền kéo (Mpa)	$0,60 \pm 0,23$

Kết quả về khả năng trương nở của màng thu được được trình bày trong Bảng 4. Độ trương nở của màng có tác động to lớn đến độ bền và khả năng ứng dụng thực tế của nó. Các kết quả khảo sát chỉ ra rằng màng có độ trương

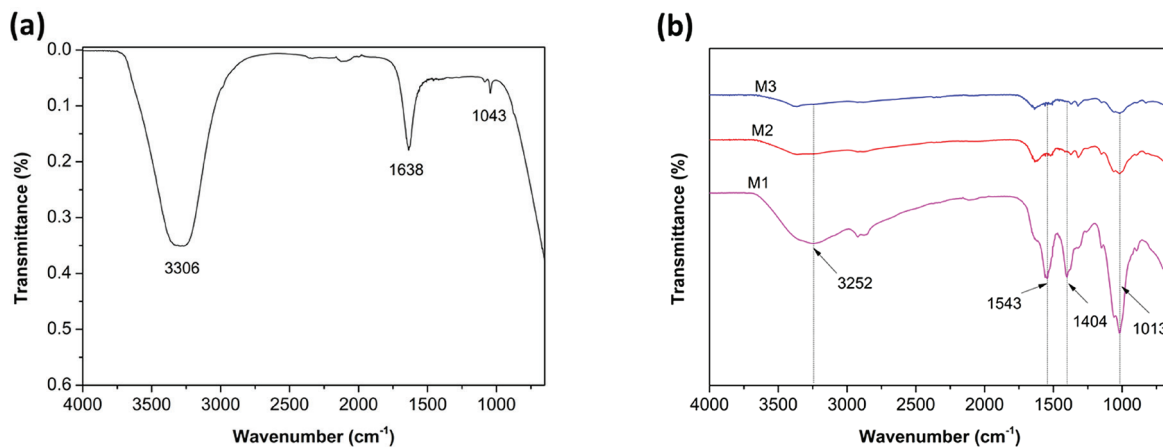
nở cao, khoảng 200%, điều này cho thấy màng có khả năng hấp thụ và duy trì nước tốt, mang lại lợi ích trong việc tạo môi trường ẩm để nâng cao hiệu suất chỉ thị màu của màng.

Bảng 4. Đánh giá mức độ trương nở (SI,%) của màng

Mẫu	m_0 (g)	m_1 (g)					
		30s	60s	120s	300s	600s	1200s
M1	0,065	0,221	0,326	0,250	0,207	0,292	0,188
	SI (%)	242,11	265,48	287,15	220,90	352,79	284,06
M2	0,074	0,166	0,165	0,195	0,152	0,238	0,134
	SI (%)	223,39	221,37	262,50	204,97	319,49	233,74
M3	0,069	0,161	0,159	0,147	0,147	0,232	0,128
	SI (%)	232,66	230,49	212,86	212,86	335,98	190,36

Hình 3 thể hiện phổ FTIR của ACN và 3 mẫu màng được tạo ra với các tỷ lệ thành phần khác nhau. Kết quả thể hiện phổ FTIR của ACN có các đỉnh phổ tại sóng 3252 cm^{-1} , cho thấy sự góp mặt của nhóm O-H phenol có trong cấu trúc ACN và nước hấp thụ liên kết với nó. Đỉnh 1543 cm^{-1} xuất hiện trong phổ màng có thể do C=C vòng thơm của ACN, tuy nhiên đỉnh 1638 cm^{-1} có thể bị dịch chuyển trong phổ màng. Đỉnh xuất hiện ở 1043 cm^{-1} trong phổ màng có thể do sự đóng góp của ACN tồn tại dưới dạng glycoside (C-O-C) [2,10]. Sự xuất hiện đỉnh mạnh ở 1013

cm^{-1} trong phổ màng có thể do dao động kéo của liên kết Si-O-Si từ SiO_2 [9]. Vị trí đỉnh có thể bị dịch chuyển trong phổ màng so với vị trí của phổ SiO_2 tinh khiết có thể do sự tương tác với các thành phần khác trong màng. Đỉnh 792 cm^{-1} của SiO_2 bị mờ đi hoặc chồng lấp với các đỉnh khác trong phổ phức tạp của màng. Nhìn chung, phổ FTIR của các tỷ lệ màng khác nhau đều cho thấy sự hiện diện của cả 3 thành phần chitosan, SiO_2 , Anthocyanin trong thành phần hóa học của màng.

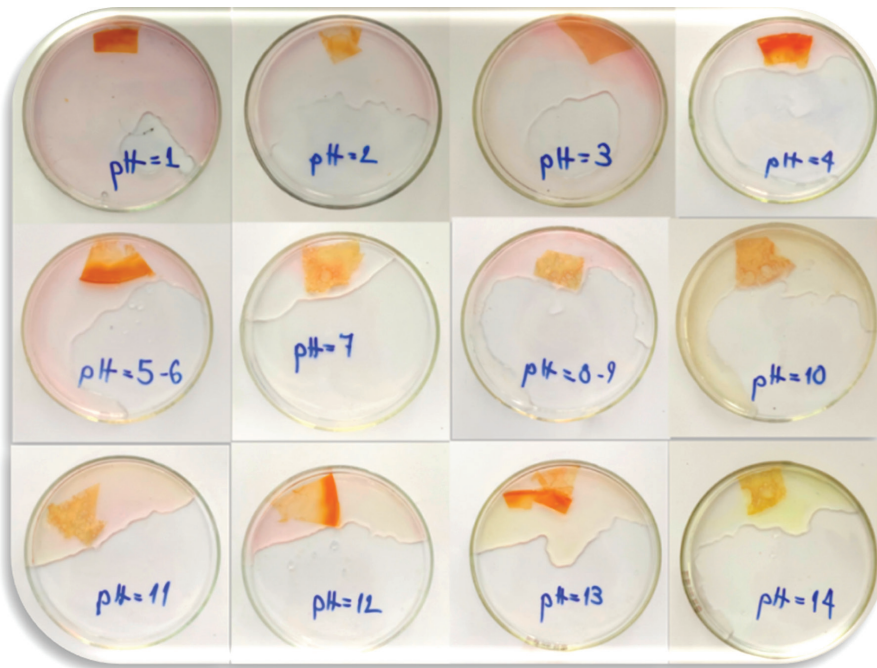


Hình 3. Phổ FTIR của (a) ACN và (b) các màng có thành phần CTS:ACN: SiO_2 theo tỷ lệ 10:8:1,5 (M1); 7,5:6:1,5 (M2) và 5:4:1,5 (M3).

3.4. Sự thay đổi màu theo pH của màng và thử nghiệm màng chỉ thị trên tôm

Mẫu màng M1 được sử dụng để thử nghiệm. Sự biến đổi màu sắc của màng CTS/ SiO_2 /ACN theo pH được thể hiện qua Hình 4. Màng chỉ thị thể hiện khả năng thay đổi màu sắc rõ ràng trong phạm vi pH từ 1 đến 14. Sự thay đổi này

cho thấy anthocyanin đã được tích hợp thành công vào màng và vẫn giữ được tính chất nhạy cảm với pH. Màng hiển thị một phổ màu khá rộng, từ hồng/đỏ ở môi trường acid đến xanh/vàng nhạt ở môi trường kiềm. Điều này hứa hẹn khả năng ứng dụng trong việc theo dõi và nhận biết các mức pH khác nhau.



Hình 4. Sự thay đổi màu sắc của màng theo pH.

Hình 5 thể hiện việc ứng dụng khả năng thay đổi màu sắc theo pH của màng chỉ thị CTS/SiO₂/ACN để nhận biết chất lượng tôm tươi trong quá trình bảo quản. Theo đó, màng có màu sắc cam khi tôm tươi (pH trung tính) và chuyển thành màu vàng (pH kiềm) khi tôm kém chất lượng. Có thể giải thích do tôm tươi sẽ bị vi khuẩn phân hủy các hợp chất hữu cơ, chủ yếu là protein và nitơ, giải phóng các amin và ammoniac [13]. Các phân tử ammoniac sẽ tương tác với hơi nước hấp thụ trên màng, làm tăng pH theo phản ứng:



Độ tươi của tôm giảm dần theo thời gian bảo quản, tương ứng với lượng ammoniac tạo thành tăng dần, do đó tăng pH là một chỉ số quan trọng cho thấy sự suy giảm chất lượng tôm. Tôm càng bị giảm chất lượng thì pH càng cao. Màng chỉ thị CTS/SiO₂/ACN có khả năng thay đổi màu sắc tương ứng với sự thay đổi pH đó. Chúng ta có thể tận dụng sự thay đổi này để đánh giá trực quan độ tươi của tôm. Bằng các quan sát, nhận biết khác có thể thấy độ tươi của tôm sau 30 ngày bảo quản thể hiện qua vỏ tôm có màu cam, vỏ cứng, độ đàn hồi thấp và có mùi hôi.



Hình 5. Thử nghiệm sử dụng màng chỉ thị để theo dõi chất lượng tôm bảo quản ở nhiệt độ thường.

IV. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Trích ly anthocyanin từ vỏ thanh long với dung môi ethanol/H₂O 1:1 bổ sung 1% HCl, tỷ lệ nguyên liệu/dung môi 1:2 (w/v), trong 60 phút ở 60°C thu được ACN. Thu nhận thành công nano-SiO₂ từ vỏ trấu với độ tinh khiết cao bằng phương pháp hòa tan bang kiềm và kết tủa bằng acid. Chế tạo thành công màng chỉ thị chitosan/SiO₂/ACN với tỷ lệ là 10:8:1,5 có tính chất cơ lý tốt và có khả năng thay đổi màu sắc theo sự biến đổi của pH. Thử nghiệm ứng dụng vào việc chỉ thị chất lượng tôm tươi trong

quá trình bảo quản ở điều kiện nhiệt độ thường trong 30 giờ. Màng chỉ thị chitosan/nano-SiO₂/ACN cho thấy có tiềm năng ứng dụng cao trong thực tiễn. Tuy nhiên, cần tiếp tục nghiên cứu tối ưu hóa tỷ lệ thành phần màng và phương pháp gắn anthocyanin để tăng khả năng giữ ACN và độ nhạy của màng chỉ thị.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Nha Trang trong đề tài mã số SV2023-13-33.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Vargas, M., Cortez, J., Duch, E., Lizama, A., Méndez, C. (2013) Extraction and Stability of Anthocyanins Present in the Skin of the Dragon Fruit (*Hylocereus undatus*). Food and Nutrition Sciences, 4, 1221-1228.
- [2]. Lu, M., Zhou, Q., Yu, H., Chen, X. and Yuan, G. (2022). Colorimetric indicator based on chitosan/gelatin with nano-ZnO and black peanut seed coat anthocyanins for application in intelligent packaging. Food Research International, 160, 111664.
- [3]. Ma, Y., Wen, L., Liu, Y., Du, P., Hu, P., Cao, J. and Wang, W. (2024). Chitosan-enhanced pH-sensitive anthocyanin indicator film for the accurate monitoring of mutton freshness. Polymers, 16, 849–849.
- [4]. Hòa, N. V. N., Truc, N. ., Tu, N. A., Ai, T. H., Dao, H. T. C., My, P. G., Thanh, N. Q. C., Nhân, L. M., & Tuấn, T. T. (2024). Chiết xuất betacyanin từ vỏ quả thanh long (*Hylocereus undatus*) với sự hỗ trợ của sóng siêu âm: thông số chiết, sự ổn định, và hoạt tính sinh học. Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ, 60, 287-298.
- [5]. Vargas, M. D. L. V., Cortez, J. A. T., Duch, E. S., Lizama, A. P., & Méndez, C. H. H. (2013). Extraction and stability of anthocyanins present in the skin of the dragon fruit (*Hylocereus undatus*). Food and Nutrition Sciences, 4(12), 1221-1228.
- [6]. Meng, F., Yan, X., Nkede, F.N., Wardak, M.H., Van, T.T., Tanaka, F. and Tanaka, F. (2024). An intelligent chitosan/polyvinyl alcohol film with two types of anthocyanins for improved color recognition accuracy and monitoring fresh-cut pineapple freshness. Food Packaging and Shelf Life, 46, 101402–101402.
- [7]. Merz, B., Capello, C., Leandro, G.C., Moritz, D.E., Monteiro, A.R. and Valencia, G.A. (2020). A novel colorimetric indicator film based on chitosan, polyvinyl alcohol and anthocyanins from jambolan (*Syzygium cumini*) fruit for monitoring shrimp freshness. International Journal of Biological Macromolecules, 153, 625–632.
- [8]. Sun, J., Jiang, H., Wu, H., Tong, C., Pang, J. and Wu, C. (2020). Multifunctional bionanocomposite films based on konjac glucomannan/chitosan with nano-ZnO and mulberry anthocyanin extract for active food packaging. Food Hydrocolloids, 107, 105942.
- [9]. Zeng, F., Ye, Y., Liu, J. and Fei, P. (2023). Intelligent pH indicator composite film based on pectin/chitosan incorporated with black rice anthocyanins for meat freshness monitoring. Food Chemistry: X, 17, 100531.
- [10]. Liou, T.H., Yang, C.C. (2011). Synthesis and surface characteristics of nanosilica produced from alkali-extracted rice husk ash. Materials Science and Engineering B 176, 521–529.

- [11]. Phuong, P.T.D., Minh, N.C., Cuong, H.N., Minh, N.V., Hoa, N.V., Yen, H.T.H., Trung, T.S. (2017) Recovery of protein hydrolysate and chitosan from black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) heads: approaching a zero waste process. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 1850-1856.
- [12]. Lee, J.H., Kwon J.H., Lee, J.W., Lee, H.S., Chang, J.H., Sang, B.I. (2017). Preparation of high purity silica originated from rice husks by chemically removing metallic impurities. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 50, 79–85.
- [13]. Xu, W., Ma, Q., Sun, J., Li, Y., Wang, J., Tang, Y., Liu, Y., Mu, J. and Wang, W. (2022). Changes in quality characteristics of shrimp (*Penaeus chinensis*) during refrigerated storage and their correlation with protein degradation. *Journal of Food Composition and Analysis*, 114, 104773.