

ỨNG DỤNG CHITOSAN TẠO VI NANG TĂNG CƯỜNG ĐỘ ỔN ĐỊNH CỦA ASTAXANTHIN TRONG CHẾ PHẨM PROTEIN-CAROTENOID

APPLICATION OF CHITOSAN MICROENCAPSULATION TO ENHANCE ASTAXANTHIN STABILITY IN A PROTEIN-CAROTENOID PREPARATION

Phạm Thị Đan Phượng, Võ Hoàng Thục Lan

Trường Thủy sản và Khoa học sự sống, Trường Đại học Nha Trang

Tác giả liên hệ: Phạm Thị Đan Phượng, Email: danphuong@ntu.edu.vn

Ngày nhận bài: 11/11/2025; Ngày phản biện thông qua: 25/12/2025 ; Ngày duyệt đăng: 25/03/2026

TÓM TẮT

Carotenoid, đặc biệt là astaxanthin, trong chế phẩm protein-carotenoid thu nhận từ đầu tôm thẻ chân trắng thường kém bền với các yếu tố môi trường như ánh sáng, oxy và nhiệt độ, dẫn đến sự suy giảm nhanh chóng về hoạt tính sinh học và màu sắc. Nghiên cứu này nhằm mục đích ứng dụng chitosan để tạo vi nang bao gói chế phẩm này thông qua phương pháp tạo gel ion. Kết quả cho thấy, nồng độ chitosan 2,5% sử dụng làm chất nền trong dung dịch natri tripolyphosphate (TPP) 3% là thích hợp nhất cho quá trình tạo hạt. Tại điều kiện này, vi nang thu được có hình cầu tròn đều với hiệu suất tạo hạt đạt 73,7%, hiệu suất bao gói astaxanthin đạt 77,3% và độ bền cơ học đạt 98,5% (sau 48 giờ). Vi nang giúp duy trì độ ổn định của astaxanthin tốt hơn đáng kể so với mẫu đối chứng, đặc biệt là khả năng bảo vệ hoạt chất trong môi trường nước ở nhiệt độ phòng khi bảo quản trong bao bì đục (HDPE). Nghiên cứu này mở ra hướng ứng dụng tiềm năng cho việc nâng cao giá trị chế phẩm protein-carotenoid từ phụ phẩm tôm trong công nghiệp thực phẩm và thức ăn thủy sản.

Từ khóa: Vi nang, protein-carotenoid, chitosan.

ABSTRACT

Carotenoids, particularly astaxanthin, found in protein-carotenoid preparations derived from white-leg shrimp heads are highly susceptible to environmental factors such as light, oxygen, and temperature, leading to a rapid degradation of biological activity and color stability. Therefore, this study aimed to apply chitosan for the microencapsulation of this preparation using the ionic gelation method. The results indicated that a 2.5% chitosan concentration, used as the wall material in a 3% sodium tripolyphosphate (TPP) cross-linking solution, was the most suitable condition for the microencapsulation process. Under these conditions, the obtained microcapsules exhibited a uniform spherical shape, achieving a bead formation yield of 73.7%, an astaxanthin encapsulation efficiency of 77.3%, and a mechanical strength of 98.5% (after 48 hours). The microcapsules significantly enhanced astaxanthin stability compared to the control sample, particularly demonstrating effective protection in an aqueous environment at room temperature when stored in opaque packaging (HDPE). This study suggests a promising approach for adding value to protein-carotenoid preparations derived from shrimp by-products, with potential applications in the food and aquaculture feed industries.

Keywords: Microencapsulation; protein-carotenoid, chitosan.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đầu tôm thẻ chân trắng là nguồn phụ phẩm dồi dào, chứa hàm lượng lớn các chất dinh dưỡng giá trị như protein, lipid, khoáng chất và đặc biệt là carotenoid (chủ yếu là astaxanthin). Việc thu hồi và chế biến chế

phẩm đậm giàu carotenoid từ nguồn phụ phẩm này không chỉ giúp gia tăng giá trị kinh tế mà còn cung cấp nguồn nguyên liệu thiết yếu cho công nghiệp thực phẩm và thức ăn chăn nuôi. Astaxanthin tự nhiên được biết đến với hoạt tính chống oxy hóa vượt trội (gấp

100 lần vitamin E), có khả năng tăng cường hệ miễn dịch, cải thiện màu sắc và tỷ lệ sống cho động vật thủy sản; đồng thời hỗ trợ ngăn ngừa các bệnh mãn tính ở người như ung thư, tiểu đường và tim mạch. Tuy nhiên, rào cản lớn nhất trong việc ứng dụng astaxanthin là tính kém bền, dễ bị suy giảm hoạt tính dưới tác động của ánh sáng, nhiệt độ và oxy. Để khắc phục hạn chế này, kỹ thuật vi nang hóa bằng chitosan được xem là giải pháp hiệu quả nhằm bao bọc và bảo vệ hoạt chất trước các tác nhân môi trường [3, 4, 8, 10, 12].

So với các phương pháp sấy phun thường gây biến tính hợp chất nhạy nhiệt, kỹ thuật tạo gel ion (ionic gelation) được ưu tiên lựa chọn nhờ điều kiện thực hiện nhẹ nhàng, chi phí thấp và không sử dụng dung môi hữu cơ độc hại [8, 10]. Trong nghiên cứu này, chitosan – một polymer sinh học từ vỏ tôm – được sử dụng làm vật liệu bao gói nhờ đặc tính tương thích sinh học, khả năng tạo màng tốt và kháng khuẩn [5, 9]. Quá trình tạo hạt dựa trên cơ chế tương tác tĩnh điện giữa các nhóm amino đã proton hóa mang điện tích dương ($-NH_3^+$) của chitosan và các nhóm phosphate mang điện tích âm của chất tạo liên kết ngang natri tripolyphosphate (TPP). Tương tác này hình thành nên mạng lưới đa điện giải (polyelectrolyte) bền vững, giúp bảo vệ hoạt chất và kiểm soát quá trình giải phóng [11, 12]. Mặc dù hệ dẫn truyền chitosan-TPP đã được nghiên cứu rộng rãi, nhưng việc ứng dụng hệ này để bao gói chế phẩm hỗn hợp protein-carotenoid thô từ đầu tôm vẫn là một hướng đi mới, ít được công bố so với việc bao gói astaxanthin tinh khiết.

Trên cơ sở đó, bài báo này trình bày quy trình tạo vi nang chitosan/protein-carotenoid (CTS/protein-carotenoid) bằng phương pháp tạo gel ion, với định hướng ứng dụng làm thức ăn nuôi trồng thủy sản chất lượng cao. Các chỉ tiêu được tập trung đánh giá bao

gồm: năng suất tạo hạt, độ bền cơ học, đặc điểm hình thái (đường kính, độ tròn), hiệu suất bao gói (protein, astaxanthin) và hiệu quả bảo quản sơ bộ trong các loại bao bì khác nhau.

II. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Chế phẩm protein-carotenoid: Nguyên liệu đầu tôm thẻ chân trắng tươi được thu nhận từ cơ sở chế biến thủy sản (mỗi đợt 10 kg, bảo quản lạnh bằng đá vảy trong thùng xốp) và vận chuyển ngay về phòng thí nghiệm. Chế phẩm protein-carotenoid được tách chiết từ đầu tôm theo phương pháp của Phương và Luyện [3]. Dịch thủy phân sau đó được cô đặc chân không ở áp suất 600 mmHg, nhiệt độ 60°C trong 4 h để thu nhận dịch nhão [13]. Sản phẩm được sử dụng ngay cho quá trình tạo hạt hoặc bảo quản đông ở nhiệt độ $-18 \pm 2^\circ\text{C}$ trong thời gian tối đa 1 tuần.

Chitosan: Được cung cấp bởi Nhóm nghiên cứu về chitin-chitosan tại Trường Đại học Nha Trang. Các thông số kỹ thuật cơ bản bao gồm: độ deacetyl (DD) 90%, khối lượng phân tử trung bình (M_w) 250 kDa, độ nhớt 200 – 250 cPs, độ tan $\geq 99\%$ (trong dung dịch acid acetic 1%), hàm lượng tạp chất (protein và khoáng) $< 1\%$.

Hóa chất và enzyme: Các hóa chất sử dụng đều đạt tiêu chuẩn phân tích (analytical grade), bao gồm: Acid acetic (CH_3COOH , 99,5%, Trung Quốc), $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$ (tinh khiết, Trung Quốc), NaOH (98%, Trung Quốc), KOH (90%, Trung Quốc). Các enzyme sử dụng gồm Alcalase 2.4 L (hoạt lực 2,4 AU/g) và Flavourzyme 500 L (hoạt lực 500 LAPU/g) do công ty Novozymes (Novo Nordisk, Bagsvaerd, Đan Mạch) cung cấp.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

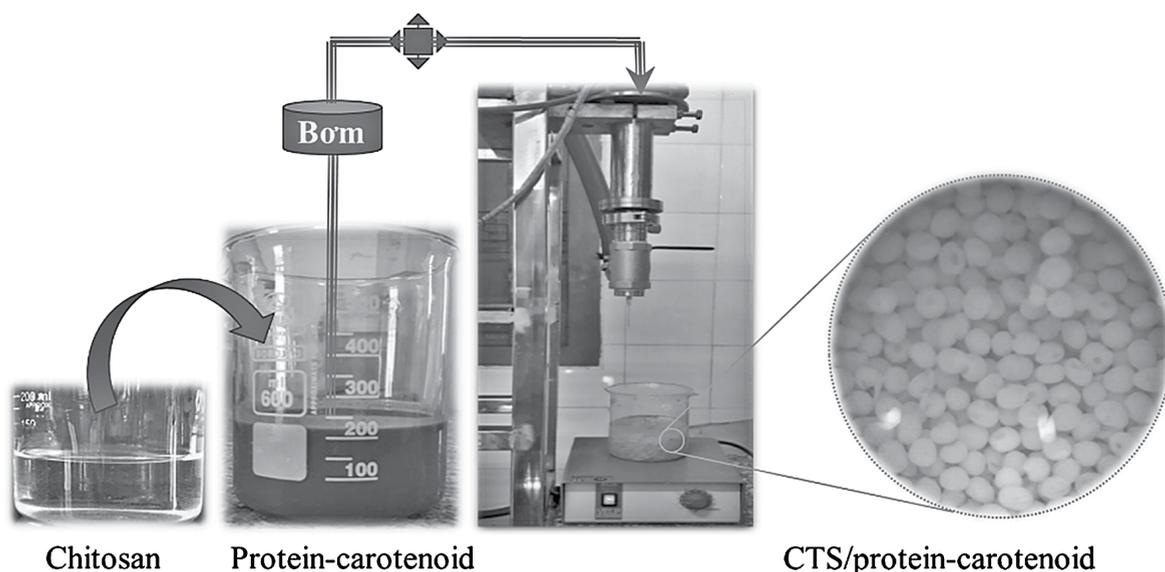
Dịch nhão protein-carotenoid được pha loãng 4 lần bằng nước cất nhằm điều chỉnh

độ nhớt phù hợp, giúp tránh tắc nghẽn vòi phun và đảm bảo độ cầu của hạt. Dịch sau pha loãng được phối trộn với dung dịch chitosan và đồng hoá bằng thiết bị Ultra-Turax (19.000 vòng/phút trong 5 phút), sau đó lọc qua lưới 0,2 mm để thu dịch đồng nhất.

Quá trình tạo hạt vi nang CTS/protein-carotenoid được thực hiện bằng thiết bị nhỏ giọt tự chế (Hình 1). Hỗn hợp sau đồng hóa được bơm qua vòi phun (đường kính đầu kim 950 μm) dưới áp suất 3 MPa, khoảng cách từ đầu kim đến bề mặt dung dịch hứng là 150 ± 1 mm. Quá trình tạo hạt được bố trí theo các thí nghiệm cụ thể sau: (i) Khảo sát ảnh hưởng của nồng độ chitosan: Hỗn hợp CTS/protein-carotenoid được nhỏ giọt vào dung

dịch tạo liên kết ngang natri tripolyphosphate (TPP) 3% (w/v); (ii) Khảo sát ảnh hưởng của loại dung dịch tạo hạt: Hỗn hợp CTS/protein-carotenoid được nhỏ giọt lần lượt vào 3 loại dung dịch tạo hạt khác nhau để so sánh, bao gồm: TPP 3% (w/v), NaOH 5% (w/v) và KOH 5% (w/v).

Trong quá trình tạo hạt, dung dịch hứng được khuấy liên tục với tốc độ 200 vòng/phút. Sau khi kết thúc quá trình nhỏ giọt, các hạt vi nang tiếp tục được khuấy trong 15 phút và giữ ổn định trong 60 phút để hoàn thiện cấu trúc. Cuối cùng, hạt được vớt ra, rửa bằng nước cất đến khi pH trung tính và bảo quản trong nước cất ở nhiệt độ phòng ($30 \pm 2^\circ\text{C}$).



Hình 1. Phương pháp tạo vi nang chitosan/protein-carotenoid bằng thiết bị nhỏ giọt tự chế.

2.3. Các phương pháp phân tích

Xác định hàm lượng ẩm, khoáng theo phương pháp AOAC [6]. Xác định hàm lượng protein tổng số bằng phương pháp Kjeldahl theo AOAC (1990). Xác định hàm lượng lipid tổng số bằng phương pháp của Bligh & Dyer [7]. Xác định hàm lượng astaxanthin bằng phương pháp của Tolasa và cộng sự [14]. Xác định độ bền cơ học của hạt

(100 hạt/20 ml nước cất) bằng phương pháp khuấy ở tốc độ cao (1000 vòng/phút, 15 phút), sau đó đếm số lượng hạt vỡ/tổng lượng hạt ban đầu (%) và tốc độ thấp (200 vòng/phút) xác định theo thời gian.

Xác định đặc điểm hình dạng hạt vi nang: Xác định kích thước hạt vi nang (tổng số 300 hạt/mẫu) bằng thước kẹp kỹ thuật Mitutoyo (0 – 25 mm) có độ chia 0,01 mm và kết hợp

với xử lý trên phần mềm ImageJ. Quan sát hình dạng hạt vi nang dưới kính hiển vi soi nổi Olympus, chụp hình bằng máy ảnh và xử lý trên phần mềm Image J 14.6. Xác định độ tròn theo phương pháp của Đăng và cộng sự [1], được tính theo công thức: Độ tròn = $(2(\pi.S)^{1/2})/P$, trong đó: S là diện tích của hạt (phân bố kích thước hạt), P là chu vi của hạt.

Năng suất tạo vi nang ($A, \%$) được đánh giá dựa trên tỷ lệ giữa tổng khối lượng hạt vi nang tạo thành và khối lượng nhũ tương trước tạo hạt, theo công thức: $A = (m \times 100) / m_0$, trong đó: m là tổng khối lượng hạt vi nang tạo thành (g), m_0 là khối lượng nhũ tương trước tạo hạt (g).

Hiệu suất bao gói được xác định dựa vào hiệu suất bọc astaxanthin ($EE_A, \%$) và protein ($EE_p, \%$), xác định theo công thức: $EE_A (\%) = (A \times 100) / A_0$ và $EE_p (\%) = (P \times 100) / P_0$, trong đó: A là hàm lượng astaxanthin (μg) và P là hàm lượng protein ($\%$) có trong hạt vi nang, A_0 là hàm lượng astaxanthin (μg) và P_0 là

hàm lượng protein ($\%$) có trong chế phẩm protein-carotenoid.

Tỷ lệ tổn thất astaxanthin ($L_A, \%$) trong hạt vi nang sau một thời gian bảo quản, được xác định theo công thức: $L_A (\%) = (A_t - A_s) \times 100 / A_t$, trong đó: A_t là hàm lượng astaxanthin trong hạt vi nang CTS/protein-carotenoid sau khi được tạo thành, A_s là hàm lượng astaxanthin trong hạt vi nang CTS/protein-carotenoid sau thời gian bảo quản.

Đồ thị được vẽ bằng phần mềm Origin, số liệu được xử lý bằng phần mềm Microsoft Excel và SPSS 26. Kết quả báo cáo là giá trị trung bình của 3 lần lặp lại thí nghiệm, được phân tích ANOVA và Ducan. Giá trị $p < 0,05$ chỉ ra sự khác nhau có ý nghĩa thống kê.

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đánh giá chất lượng dịch protein-carotenoid thu hồi từ đầu tôm thẻ chân trắng

Bảng 1. Thành phần hoá học cơ bản của dịch protein-carotenoid đậm đặc

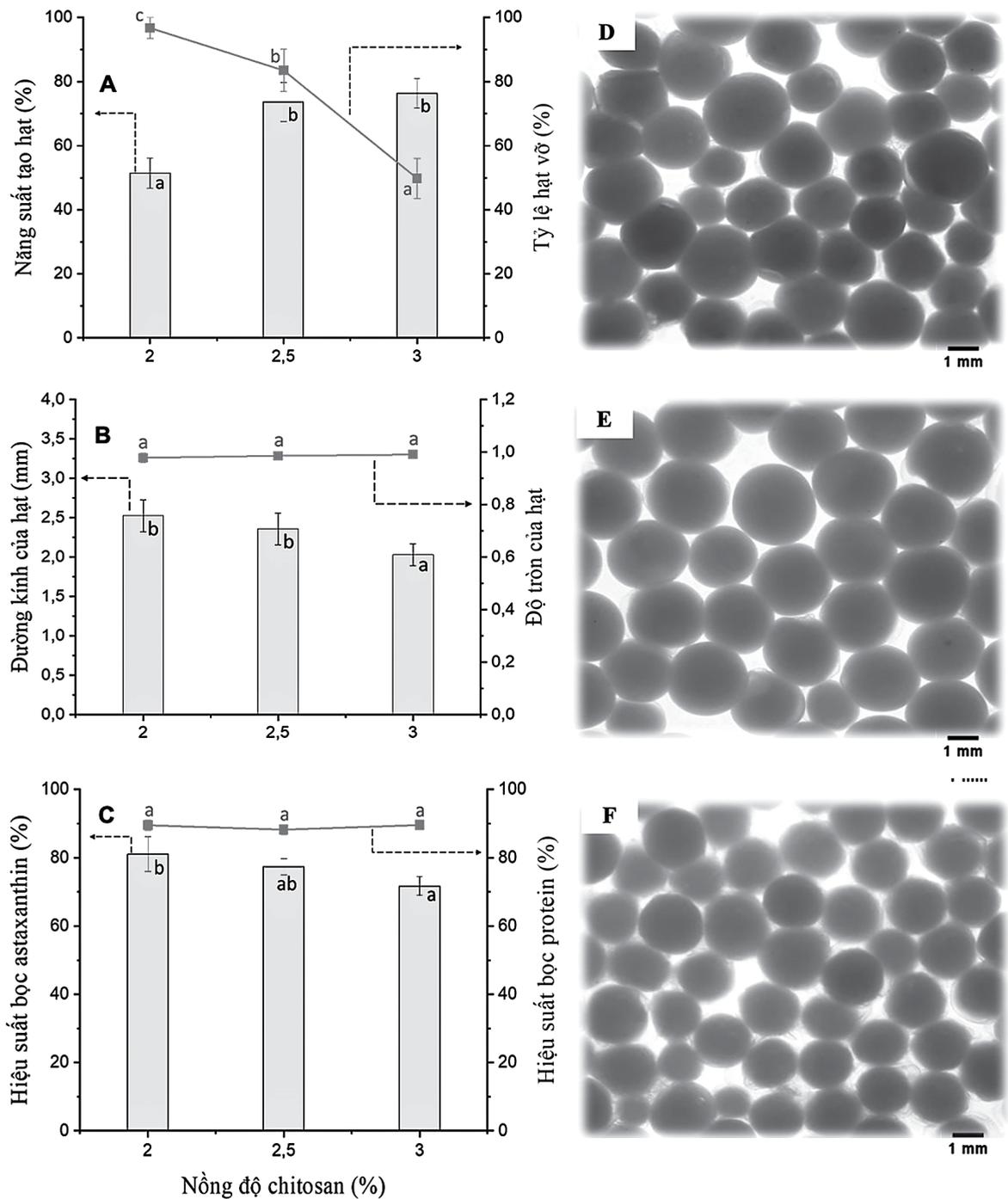
Chỉ tiêu	Kết quả
Hàm lượng ẩm (%)	61,7 ± 0,2
Hàm lượng khoáng (%)*	9,5 ± 0,04
Hàm lượng protein (%)*	78,7 ± 0,06
Hàm lượng lipid (%)*	12,5 ± 1,8
Hàm lượng astaxanthin (mg/kg)*	395,8 ± 9,3
pH	7,4 ± 0,3

*Kết quả tính theo hàm lượng chất khô tuyệt đối

Kết quả Bảng 1 cho thấy chế phẩm thu được là nguồn dinh dưỡng giá trị cao với thành phần chủ yếu là protein (78,7%) và astaxanthin (395,8 mg/kg). Các giá trị này cao hơn đáng kể so với các nghiên cứu trước đây cùng sử dụng phương pháp thủy phân enzyme (đạt 64,7 – 67,2% protein và 353 – 365,5 mg/kg astaxanthin) [2, 3]. Sự khác biệt này có thể xuất phát từ đặc điểm nguồn nguyên liệu đầu vào và hiệu quả của quá

trình cô đặc chân không, giúp loại bỏ phần lớn lượng nước (độ ẩm 61,7%) và giảm thiểu tổn thất dinh dưỡng do nhiệt. Nhờ đó, chế phẩm giữ được trạng thái đồng nhất, có màu đỏ gạch và mùi thơm đặc trưng của tôm (Hình 1). Bên cạnh đó, với hàm lượng lipid (12,5%) và khoáng (9,5%) đáng kể, sản phẩm hoàn toàn phù hợp để làm nguyên liệu bổ sung chất lượng cao cho thức ăn chăn nuôi và nuôi trồng thủy sản [4].

3.2. Ảnh hưởng của nồng độ chitosan đến khả năng tạo hạt vi nang chitosan/protein-carotenoid



Hình 2. Ảnh hưởng của nồng độ chitosan đến các đặc tính vi nang. (A) Năng suất tạo hạt và tỷ lệ vỡ; (B) Đường kính và độ tròn; (C) Hiệu suất bọc astaxanthin và protein; (D, E, F) Hình thái vi nang tương ứng ở nồng độ chitosan 2,0%, 2,5% và 3,0% (độ phóng đại 3,5X). Thanh thước đo tương ứng với 1 mm. Các giá trị có ký tự khác nhau thể hiện sự khác biệt thống kê ($p < 0,5$).

Nồng độ chitosan (CTS) ảnh hưởng đáng kể đến năng suất tạo hạt (Hình 2A). Tại nồng độ thấp (2,0%), năng suất chỉ đạt 51,4%. Tuy nhiên, khi tăng nồng độ lên 2,5% và 3,0%, năng suất tăng mạnh và ổn định trong khoảng 73,7 – 76,3% (không khác biệt thống kê, $p > 0,05$). Kết quả này cho thấy nồng độ CTS 2,5% đủ để hình thành mạng lưới gel ion nhanh chóng, hạn chế sự khuếch tán của dịch nhân ra môi trường TPP bên ngoài.

Về độ bền cơ học, cấu trúc hạt trở nên bền vững hơn khi nồng độ chitosan tăng. Dưới tác động lực cắt mạnh, mẫu CTS 2,0% bị vỡ gần như hoàn toàn ($96,8 \pm 3,2\%$), trong khi mẫu CTS 3,0% giảm tỷ lệ vỡ xuống còn một nửa ($49,8 \pm 6,3\%$). Tương tự, độ bền trong môi trường nước sau 48 giờ (Bảng

2) cũng tăng dần từ 96,3% (CTS 2,0%) lên 100% (CTS 3,0%), khẳng định vai trò của mật độ polymer cao trong việc gia cường cấu trúc hạt.

Về hình thái (Hình 2B), đường kính hạt có xu hướng giảm khi nồng độ CTS tăng, từ $2,53 \pm 0,2$ mm (CTS 2,0%) xuống $2,03 \pm 0,14$ mm (CTS 3,0%). Hiện tượng này có thể do mật độ liên kết chéo tăng lên làm co rút mạng lưới hydrogel. Mặc dù kích thước thay đổi, độ tròn của hạt vẫn duy trì ổn định (0,98 – 0,99) ở tất cả các nồng độ. Kích thước hạt trong nghiên cứu này lớn hơn đáng kể so với vi nang micro (5 – 50 μ m) trong báo cáo của Higuera-Ciapara và cộng sự [9], chủ yếu do sự khác biệt về phương pháp tạo hạt (nhỏ giọt so với nhũ tương hóa).

Bảng 2. Ảnh hưởng của nồng độ chitosan đến độ bền cơ học (%) của hạt vi nang CTS/protein-carotenoid*

Nồng độ CTS (%)	24 giờ	36 giờ	48 giờ
2,0	100 ^a	$99,8 \pm 0,1^a$	$96,3 \pm 0,7^a$
2,5	100 ^a	100 ^b	$98,5 \pm 0,3^b$
3,0	100 ^a	100 ^b	100 ^c

*Các giá trị trong cùng một cột có chữ cái khác nhau (a, b, c) biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Hiệu suất bao gói (EE) protein duy trì ổn định ở mức cao (88 - 90%) và không phụ thuộc vào nồng độ CTS ($p > 0,05$), nhờ tương tác tĩnh điện mạnh giữa nhóm NH_3^+ của chitosan và COO^- của protein. Ngược

lại, hiệu suất bao gói astaxanthin giảm nhẹ khi tăng nồng độ CTS, đạt cao nhất ở mẫu 2,0% (81,1%) và giảm xuống 71,7% ở mẫu 3,0% (Hình 2C). Nguyên nhân có thể do độ nhớt cao của dung dịch chitosan 3,0% gây

cản trở quá trình phân tán đồng nhất hoặc cấu trúc mạng lưới quá chặt gây đẩy các giọt dầu ra bề mặt. Dù vậy, mức hiệu suất tại nồng độ 2,5% (77,3%) vẫn cao hơn so với các nghiên cứu sử dụng hệ dẫn gelatin/gum (khoảng 60%) [8].

Tổng hợp các yếu tố, nồng độ CTS 2,5% được lựa chọn là tối ưu nhờ sự cân bằng giữa các chỉ tiêu kinh tế - kỹ thuật: năng suất tạo hạt cao (73,7%), độ bền cơ học tốt (98,5%) và hiệu suất bao gói astaxanthin đạt yêu cầu (77,3%).

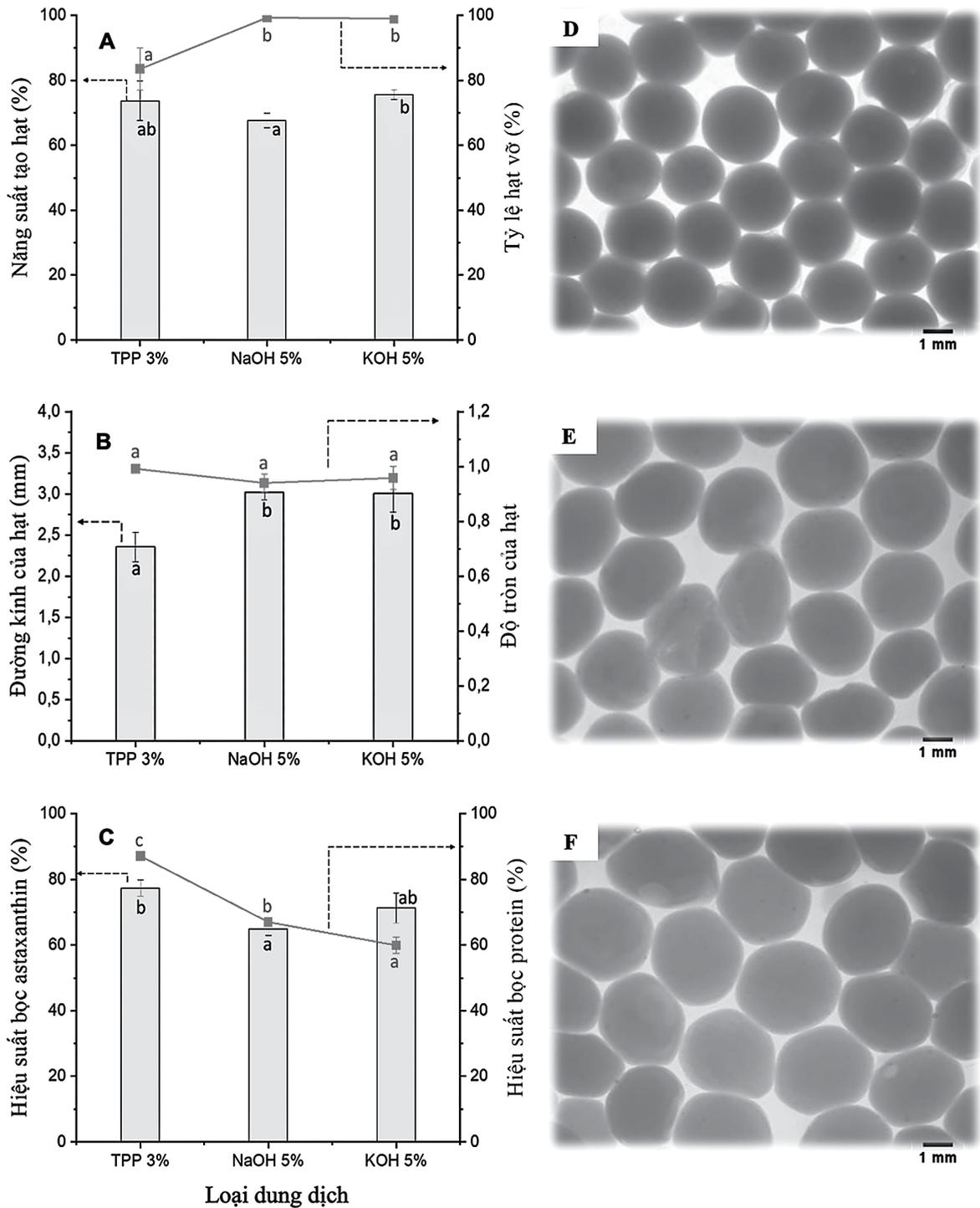
3.3. Ảnh hưởng của loại dung dịch tạo hạt tới đặc tính vi nang chitosan/protein-carotenoid

Loại dung dịch tạo hạt ảnh hưởng rõ rệt đến quá trình hình thành và tính chất lý hóa của vi nang. Về năng suất tạo hạt (Hình 3A), môi trường KOH cho giá trị cao nhất ($75,6 \pm 1,5\%$), khác biệt có ý nghĩa so với NaOH ($67,6 \pm 2,3\%$), trong khi TPP ($73,7 \pm 6,1\%$) nằm ở mức trung gian và không khác biệt thống kê so với hai dung dịch còn lại ($p > 0,05$). Tuy nhiên, sự khác biệt lớn nhất nằm ở độ bền cơ học. Hạt tạo trong môi trường kiềm (NaOH, KOH) có cấu trúc rất yếu, tỷ lệ vỡ lên tới $\sim 99\%$ dưới tác động cơ học. Ngược lại, hạt tạo bởi TPP có độ bền tốt hơn, với tỷ lệ vỡ thấp hơn đáng kể ($83,5 \pm 6,6\%$). Sự khác biệt này xuất phát từ cơ chế tạo màng. Trong môi trường kiềm mạnh (OH⁻), nhóm amino của chitosan bị khử proton, dẫn đến quá trình kết tủa vật lý đơn thuần, tạo ra cấu trúc hạt

xốp và lỏng lẻo. Ngược lại, TPP đóng vai trò là chất tạo liên kết ngang, hình thành mạng lưới ion bền vững giữa các nhóm NH₃⁺ của chitosan và các nhóm phosphate đa âm (P₃O₁₀⁵⁻), giúp hạt có cấu trúc không gian chặt chẽ hơn.

Về hình thái (Hình 3B), vi nang tạo trong dung dịch TPP có kích thước nhỏ gọn ($2,36 \pm 0,2$ mm), bé hơn đáng kể so với hạt trong môi trường NaOH và KOH ($\sim 3,0$ mm) ($p < 0,05$). Sự trương nở của hạt trong môi trường kiềm khiến kích thước tăng lên nhưng lại làm giảm mật độ cấu trúc. Mặc dù độ tròn của các hạt tương đương nhau ($0,98 - 0,99$), nhưng quan sát cảm quan (Hình 3D-F) cho thấy hạt trong môi trường TPP giữ được màu đỏ cam đặc trưng. Trong khi đó, hạt trong môi trường kiềm nhanh chóng bị bạc màu sau 60 phút ổn định, chứng tỏ cấu trúc lỏng lẻo đã khiến sắc tố dễ dàng khuếch tán ra ngoài hoặc bị phân hủy bởi pH cao.

Hiệu quả bảo vệ hoạt chất được khẳng định qua Hình 3C. Môi trường TPP cho hiệu suất bao gói astaxanthin ($77,3 \pm 2,4\%$) và protein ($87,1 \pm 1,3\%$) cao hơn có ý nghĩa thống kê so với môi trường kiềm (với hiệu suất astaxanthin chỉ đạt 64 - 71%). Mạng lưới liên kết ion chitosan-TPP không chỉ giữ chặt protein-carotenoid trong cốt hạt mà còn hạn chế sự xâm nhập của tác nhân oxy hóa.



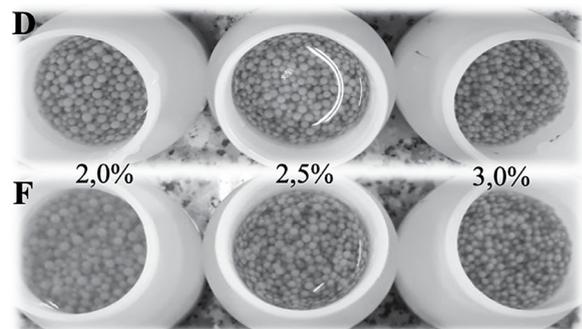
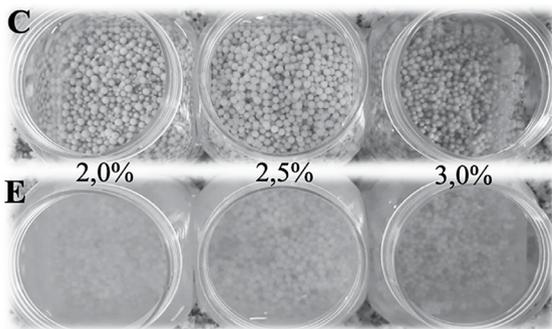
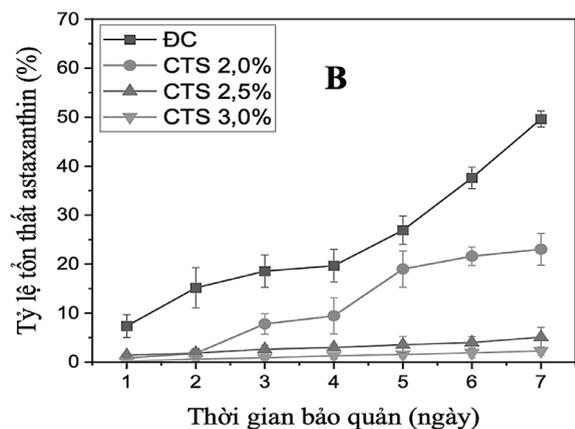
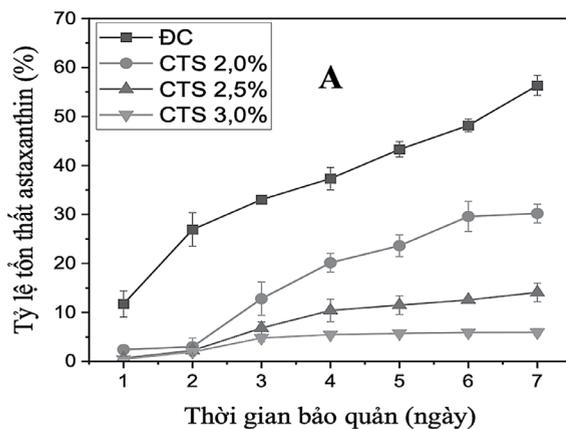
Hình 3. Ảnh hưởng của loại dung dịch tạo hạt đến đặc tính của vi nang. (A) Năng suất tạo hạt và tỷ lệ vỡ; (B) Đường kính và độ tròn; (C) Hiệu suất bọc astaxanthin và protein; (D, E, F) Hình thái vi nang trong các dung dịch TPP 3%, NaOH 5%, và KOH 5% (độ phóng đại 3,5X). Thanh thước đo tương ứng với 1 mm. Các giá trị có ký tự khác nhau thể hiện sự khác biệt thống kê ($p < 0,05$).

Tóm lại, TPP là tác nhân phù hợp nhất cho quá trình tạo hạt vi nang CTS/protein-carotenoid, đảm bảo sự cân bằng giữa hiệu suất bao gói cao, độ bền cơ học tốt và khả năng giữ màu sắc ổn định cho sản phẩm.

3.4. Ảnh hưởng của nồng độ chitosan và loại bao bì đến hàm lượng astaxanthin trong vi nang chitosan/protein-carotenoid

Đánh giá độ ổn định của vi nang trong môi trường nước ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) là bước quan trọng để xác định khả năng bảo vệ hoạt chất của màng bao chitosan. Kết quả (Hình 4) cho thấy loại bao bì ảnh hưởng quyết định đến tốc độ suy giảm astaxanthin. Trong bao bì PP (trong suốt),

tỷ lệ tổn thất astaxanthin tăng nhanh ở tất cả các mẫu (Hình 4A) do tác động trực tiếp của ánh sáng, thúc đẩy phản ứng quang oxy hóa và chuyển đổi đồng phân trans-astaxanthin sang dạng cis có hoạt tính sinh học thấp hơn [9]. Ngược lại, bao bì HDPE (đục) hạn chế tối đa tác động của ánh sáng, giúp duy trì hàm lượng astaxanthin ổn định hơn đáng kể (Hình 4B). Về nồng độ chất bao, mẫu đối chứng và vi nang CTS 2,0% nhanh chóng bị bạc màu và vỡ cấu trúc (Hình 4E). Trong khi đó, vi nang CTS 2,5% và 3,0% thể hiện khả năng bảo vệ vượt trội nhờ mạng lưới liên kết ion chitosan-TPP bền vững [11].



Hình 4. Khảo sát độ ổn định của astaxanthin trong vi nang, thể hiện qua tỷ lệ tổn thất theo thời gian. Các hình ở cột trái (A, C, E) thể hiện kết quả trong bao bì trong suốt (PP); các hình ở cột phải (B, D, F) thể hiện kết quả trong bao bì đục (HDPE). Trong đó: (A, B) là đồ thị tỷ lệ tổn thất astaxanthin (%); (C, D) là hình thái vi nang tại thời điểm ban đầu (Ngày 0); và (E, F) là hình thái vi nang sau 7 ngày bảo quản.

Sau 7 ngày bảo quản trong bao bì kín, mẫu CTS 3,0% có tỷ lệ tổn thất thấp nhất (2,3%), tốt hơn so với mẫu 2,5% (5,1%). Tuy nhiên,

lớp vỏ polymer quá dày ở nồng độ 3,0% có thể làm chậm quá trình phân rã và giải phóng hoạt chất trong đường tiêu hóa động vật [5]. Vì vậy,

nồng độ CTS 2,5% được xác định là lựa chọn tối ưu, đảm bảo sự cân bằng giữa khả năng bảo vệ hoạt chất (tổn thất thấp < 6%) và khả năng phân giải sinh học phù hợp cho ứng dụng làm thức ăn thủy sản.

IV. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng thành công quy trình vi nang hóa chế phẩm protein-carotenoid từ đầu tôm thẻ chân trắng bằng phương pháp tạo gel ion. Kết quả cho thấy điều kiện thích hợp để tạo hạt là sử dụng nồng độ chitosan 2,5% trong dung dịch chất tạo liên kết natri tripolyphosphate (TPP) 3%. Tại điều kiện này, vi nang thu được có chất lượng tốt với hiệu suất tạo hạt đạt 73,7%; độ bền cơ học cao (98,5% sau 48 giờ khuấy); hạt có hình cầu tròn đều

(độ tròn 0,99) với đường kính trung bình 2,36 mm. Đặc biệt, vi nang thể hiện khả năng bao gói hiệu quả với hiệu suất bọc astaxanthin đạt 77,3% và hiệu suất bọc protein đạt 87%. Hạt vi nang CTS/protein-carotenoid cho thấy khả năng bảo vệ hoạt chất ổn định trong môi trường nước ở nhiệt độ phòng, đặc biệt khi được bảo quản trong bao bì kín sáng (HDPE). Kết quả này khẳng định tiềm năng ứng dụng chitosan để nâng cao giá trị sử dụng của phụ phẩm tôm trong sản xuất thức ăn thủy sản.

Kiến nghị: Từ kết quả nghiên cứu, nhóm tác giả đề xuất: (1) Cần nghiên cứu sâu hơn về khả năng giải phóng của astaxanthin trong hệ tiêu hóa giả lập; (2) Thử nghiệm bổ sung vi nang vào thức ăn thực tế để đánh giá hiệu quả tăng màu trên đối tượng nuôi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Trần Hải Đăng, Đào Thị Kim Thoa, Tạ Thị Minh Ngọc (2017), “*Ảnh hưởng của chất hoạt động bề mặt và điều kiện đông tụ tới tính chất hình học của hạt vi nang chitosan – dầu gấc*”, Tạp chí Khoa học Kỹ thuật và Công nghệ Việt Nam, 12(1), 62-64.
2. Phạm Thị Đan Phượng (2013), “*Chế biến bột nôm tôm từ chế phẩm đậm giàu carotenoid thu nhận từ đầu tôm thẻ chân trắng*”, Tạp chí khoa học- công nghệ Thủy sản, số 3, 39-46.
3. Phạm Thị Đan Phượng và Trần Thị Luyến (2013), “*Chiết rút chế phẩm đậm giàu carotenoid từ đầu tôm thẻ chân trắng*”, Tạp chí khoa học- công nghệ thủy sản, số 1, 125-131.
4. Phạm Thị Đan Phượng, Trang Sĩ Trung, Nguyễn Thị Như Thường (2015), “*Tách chiết và thu nhận chế phẩm carotenoprotein từ phế liệu tôm và ứng dụng*”, Tạp chí khoa học- công nghệ Thủy sản, số 4, 142-153.
5. Trang Sĩ Trung, Trần Thị Luyến, Nguyễn Anh Tuấn, Nguyễn Văn Hòa, Nguyễn Thị Hằng Phương (2018), Chitin - Chitosan từ phế liệu thủy sản & Ứng dụng, Nhà xuất bản Nông nghiệp, 56-72.

Tiếng Anh

6. AOAC (1990), Official Method of Analysis (Vol. 15th), Arlington, VA: Association of official chemists.
7. Bligh, E.G., W.J. Dyer (1959), “*A rapid method of total extraction and purification Canadian*”, Biochemistry and Physiology, 37, 911-917.
8. Gomez-Estaca J., Comunian T.A., Montero P., Ferro-Furtado R., FavaroTrindade C.S. (2016), “*Encapsulation of an astaxanthin-containing lipid extract from shrimp waste by complex coacervation using a novel gelatin-cashew gum complex*”, Food Hydrocolloids, 61, 155-162.
9. Higuera-Ciapara, I., Felix-Valenzuela, L., Goycoolea, F. M., & Argüelles-Monal, W. (2004), “*Microencapsulation of astaxanthin in a chitosan matrix*”, Carbohydrate Polymers, 56(1), 41-45.
10. Inthamat P., Siripatrawan U. (2025), “*Influence of chitosan encapsulation on functionality and stability of astaxanthin nanoemulsion fabricated using high pressure homogenization*”, International Journal of

Biological Macromolecules, Vol. 303, 140379.

11. Karimi M., Avcı P., Ahi Mohsen., Gazori T., Hamblin M.R., Naderi-Manesh H. (2013), “*Evaluation of Chitosan-Tripolyphosphate nanoparticles as a p-shRNA Delivery Vector: Formulaytion, Optimization and Cellular Uptake Study*”, J. Nanopharm Drug Deliv., 1(3), 266-278.
12. Martínez-Álvarez O., Calvo M.M., Gómez-Estaca J. (2020), “Recent Advances in Astaxanthin Micro/Nanoencapsulation to Improve Its Stability and Functionality as a Food Ingredient”, Marine drugs, 18(406) 18080406, 1-25.
13. Phuong P.T.D., Minh N.C., Cuong H.N., Minh N.V., Han N.T., 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(7), 1850-1856.
14. Tolasa, S., Cakli, S., Ostermeyer, U. (2005). “Determination of astaxanthin and canthaxanthin in salmonid”, European Food Research and Technology, 221, 787–791.