

TỐI ƯU HÓA TRÍCH LY ASTAXANTHIN BẰNG VI SÓNG - DES-ETHANOL VÀ ỨNG DỤNG DỊCH TRÍCH VÀO BẢO QUẢN THỊT

ĐỖ ÁI NHƯ MY¹ - VŨ VĂN PHƯỚC^{1*} - TRẦN CHÍ HẢI¹ - PHAN VĂN MÃN²

¹Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

Ho Chi Minh City University of Industry and Trade

²Trường Cao đẳng Kỹ thuật Công nghệ Bà Rịa - Vũng Tàu

Ba Ria - Vung Tau College of Technology

*Email: vuvanphuoc2408@gmail.com

Ngày nhận bài: 22/5/2026

Ngày sửa bài: 10/6/2026

Ngày duyệt đăng bài: 24/6/2026

Tóm tắt:

Nghiên cứu này tối ưu hóa quá trình trích ly Astaxanthin từ vỏ tôm bằng vi sóng sử dụng hệ đồng dung môi DES-ethanol (55:45) và ứng dụng dịch chiết thu được trong chế tạo màng chitosan bảo quản thịt heo. Điều kiện tối ưu gồm công suất vi sóng 330 W, thời gian vi sóng 60 s và thời gian lắc 25 phút, cho hàm lượng Astaxanthin đạt $44,64 \pm 0,17 \mu\text{g/g}$. Dịch chiết sau đó được bổ sung vào màng chitosan với tỷ lệ phối trộn 1:20 (v/v) nhằm tạo màng sinh học hoạt tính. Kết quả bảo quản ở 4°C cho thấy, màng hoạt tính giúp giảm oxy hóa lipid, ức chế sự phát triển của vi sinh vật và kéo dài thời gian đạt ngưỡng hư hỏng vi sinh khoảng 3 ngày so với đối chứng âm. Kết quả cho thấy, tiềm năng ứng dụng Astaxanthin từ vỏ tôm trong phát triển vật liệu bao gói sinh học hoạt tính.

Từ khóa: Astaxanthin, vỏ tôm, DES-ethanol, vi sóng, màng chitosan, bảo quản thịt heo.

Optimization of microwave-assisted astaxanthin extraction using a DES-ethanol system and application of the extract in meat preservation

Abstract:

This study optimizes microwave-assisted extraction of astaxanthin from shrimp shells using a deep eutectic solvent-ethanol system at a ratio of 55:45 and evaluates the extract in chitosan films for pork preservation. A Box-Behnken design identified the optimal conditions as 330 W microwave power, 60 seconds of irradiation, and 25 minutes of shaking, yielding $44.64 \pm 0.17 \mu\text{g/g}$ astaxanthin. The extract was incorporated into chitosan films at a ratio of 1:20 (v/v) to produce an active biodegradable film. Pork stored at 4°C with the active film exhibited lower lipid oxidation and reduced microbial growth compared with the negative control. The film extended the time required to reach the microbiological spoilage threshold by approximately three days. These findings demonstrate the potential of shrimp-shell-derived astaxanthin for active biodegradable food-packaging applications.

Keywords: astaxanthin, shrimp shells, DES-ethanol, microwave-assisted extraction, chitosan film, pork preservation.

1. Đặt vấn đề

Vỏ tôm là phụ phẩm giàu Astaxanthin, một carotenoid có hoạt tính chống oxy hóa cao và nhiều tiềm năng ứng dụng trong thực phẩm¹. Gần đây, hệ đồng dung môi DES-ethanol với tỷ lệ 55:45 đã được chứng minh có khả năng nâng cao hiệu suất thu hồi Astaxanthin từ vỏ tôm². So với các phương pháp truyền thống, trích ly hỗ trợ bằng vi sóng (MAE) nổi lên như một giải pháp ưu việt nhờ khả năng gia nhiệt thể tích nhanh chóng, giúp rút ngắn thời gian và bảo vệ cấu trúc hoạt chất nhạy cảm với nhiệt. Bên cạnh đó, việc bổ sung các hợp chất chống oxy hóa tự nhiên vào màng chitosan là hướng tiếp cận tiềm năng nhằm kéo dài thời gian bảo quản thực phẩm³. Do đó, nghiên cứu này nhằm tối ưu hóa quá trình trích ly Astaxanthin từ vỏ tôm bằng vi sóng sử dụng hệ đồng dung môi DES-ethanol (55:45) và ứng dụng dịch chiết thu được trong chế tạo màng chitosan bảo quản thịt heo.

2. Nguyên liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên liệu

Vỏ tôm sú được cung cấp từ Công ty Cổ phần Thủy đặc sản Seaspimex, được vận chuyển lạnh về phòng thí nghiệm. Tại đây, vỏ tôm được rửa sạch và sấy đối lưu ở 50°C đến độ ẩm dưới 10%. Sau đó, vỏ tôm đã sấy được nghiền và rây qua rây Φ1mm. Phần qua rây được định lượng thành các phần 30 gram, đóng gói chân không trong túi PA khô sạch và bảo quản 4°C để làm nguyên liệu trong suốt quá trình nghiên cứu. Bên cạnh đó, thịt heo ba chỉ tươi dùng trong bảo quản được mua từ Công ty Cổ phần chăn nuôi C.P. Việt Nam. Ngoài ra, chất chuẩn Astaxanthin 99,5% (Merck) và các hóa chất khác đạt yêu cầu cơ bản của hóa chất dùng trong phân tích.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Tối ưu hóa quá trình trích ly astaxanthin từ vỏ tôm

Quá trình tối ưu hóa bằng thiết kế Box-Behnken với 3 biến độc lập bao gồm: Công suất vi sóng (W), thời gian vi sóng (giây) và thời gian lắc (phút). Kết quả thí nghiệm được thể hiện qua Bảng 1. Hàm mục tiêu của thí nghiệm là hàm lượng Astaxanthin (µg/g nguyên liệu). Bột vỏ tôm được định lượng 1,00g cho vào bình tam giác có chứa 20mL hệ đồng dung môi DES-Ethanol (55:45). Hỗn hợp được xử lý vi sóng tại công suất và thời gian vi sóng khảo sát. Hỗn hợp sau vi sóng được lắc ổn nhiệt tại 40°C ở tốc độ 150 vòng/phút. Các yếu tố khác được giữ cố định. Hỗn hợp sau trích ly được ly tâm 5000 vòng/phút trong 15 phút, lọc qua màng PTEE 0,22 µm. Dịch lọc tiếp tục được phân tách lỏng - lỏng với chloroform và đo độ hấp thụ bằng quang phổ UV-Vis ở 492 nm để định lượng Astaxanthin. (Bảng 1)

Bảng 1. Bố trí và kết quả tối ưu hóa quá trình trích ly Astaxanthin từ vỏ tôm bằng ethanol vi sóng với DES:Ethanol (55:45)

STT	Giá trị biến thực			Giá trị biến mã hóa			Y
	Công suất vi sóng (W)	Thời gian vi sóng (giây)	Thời gian lắc (phút)	X ₁	X ₂	X ₃	Y
1	220	50	20	-1	-1	0	43.15
2	440	50	20	1	-1	0	41.43
3	220	70	20	-1	1	0	42.47
4	440	70	20	1	1	0	43.03

5	220	60	15	-1	0	-1	42.47
6	440	60	15	1	0	-1	41.71
7	220	60	25	-1	0	1	44.52
8	440	60	25	1	0	1	42.75
9	330	50	15	0	-1	-1	42.36
10	330	70	15	0	1	-1	41.33
11	330	50	25	0	-1	1	43.91
12	330	70	25	0	1	1	44.21
13	330	60	20	0	0	0	44.30
14	330	60	20	0	0	0	44.25
15	330	60	20	0	0	0	43.60

2.2.2. Chuẩn bị màng

Màng chitosan được chuẩn bị theo phương pháp của Zhou và cộng sự với một số điều chỉnh cho phù hợp³. Dung dịch chitosan 2% (w/v) được chuẩn bị trong acid acetic 1%, khuấy 24 giờ. Đối với màng phối trộn, glycerol được bổ sung với tỷ lệ glycerol:chitosan là 1:5 (w/w). Với màng ứng dụng, dịch trích Astaxanthin được bổ sung trực tiếp vào dung dịch nền với các tỷ lệ khảo sát. Hỗn hợp được khuấy đồng nhất trong 24 giờ, khử bọt, đóng 40 mL vào đĩa Petri (Φ 9 cm) và sấy khô ở nhiệt độ phòng trong tủ hút đến khi tạo màng đồng đều.

2.2.3. Thử nghiệm bảo quản thịt

Các mẫu thịt được đặt trong các hộp nhựa vô trùng và bảo quản ở 4°C. Mẫu đối chứng âm (mẫu không màng) không được phủ màng. Mẫu đối chứng dương (mẫu Ch-Gly) được phủ kín miệng hộp bằng màng chitosan-glycerol không chứa dịch chiết Astaxanthin. Mẫu màng sinh học (mẫu Ch-Gly-Ast) chứa dịch chiết Astaxanthin với tỷ lệ phối trộn 1:20 (v/v) được lựa chọn dựa trên các khảo sát sơ bộ. Các mẫu được theo dõi trong 12 ngày và đánh giá các chỉ tiêu pH, tổng số vi sinh vật hiếu khí (TVC) và chỉ số TBARS theo thời gian bảo quản.

2.3. Phương pháp phân tích

Hàm lượng Astaxanthin trong dịch chiết được xác định bằng phương pháp quang phổ hấp thụ tại bước sóng 492 nm theo Ewen Mclean và Aqua cognoscent⁴.

Đối với thử nghiệm bảo quản thịt, giá trị pH của thịt được đo bằng máy đo pH kỹ thuật số (SI ANALYTICS LAB 855) sau khi đồng nhất mẫu với nước cất theo tỷ lệ 1:5 (Hultmann và cộng sự⁵). Trong khi đó, chỉ số TBARS (mg MDA/kg) được xác định theo Grotta và cộng sự⁶ với một số hiệu chỉnh: 5,00 g mẫu được trích ly trong 10 mL dung dịch TCA 7,5%, dịch lọc được phản ứng với TBA 0,02 M (tỷ lệ 1:1 v/v) ở 90°C trong 40 phút, làm lạnh nhanh và đo độ hấp thụ quang tại 532 nm (Jenway 7305) dựa trên đường chuẩn TEP. Bên cạnh đó, tổng số vi sinh vật hiếu khí (TVC) được định lượng theo TCVN 11039-1:2015⁷.

2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Trong nghiên cứu này, mỗi thí nghiệm được tiến hành lặp lại 3 lần, kết quả được trình bày ở dạng giá trị trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn. Kết quả được tính toán bằng phần mềm Microsoft Office Excel và Minitab.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Tối ưu hóa quá trình trích ly Astaxanthin bằng vi sóng kết hợp đồng dung môi DES-Ethanol (55:45)

Kết quả phân tích phương sai cho thấy, mô hình hồi quy Box-Behnken có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$) và tương thích tốt với thực nghiệm do hệ số Lack-of-Fit không có ý nghĩa ($p = 0,371 > 0,05$) (Bảng 2). Trong các yếu tố khảo sát, công suất vi sóng (X_1) và thời gian lắc sau vi sóng (X_3) ảnh hưởng đáng kể đến hàm lượng astaxanthin ở bậc nhất ($p < 0,05$), trong khi các thành phần bậc hai của công suất vi sóng (X_1^2) và thời gian vi sóng (X_2^2) cũng có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Ngược lại, các tương tác giữa các yếu tố không có ý nghĩa ($p > 0,05$).

Các hệ số âm của X_1^2 và X_2^2 cho thấy, khi vượt quá ngưỡng tối ưu, công suất và thời gian vi sóng sẽ làm giảm hiệu suất thu hồi astaxanthin. Trong khi đó, thời gian lắc (X_3) có ảnh hưởng tuyến tính dương mạnh nhất ($p = 0,001$), cho thấy hàm lượng astaxanthin tiếp tục tăng trong phạm vi khảo sát mà chưa xuất hiện điểm cực đại.

Điều kiện tối ưu được xác định gồm công suất vi sóng 330 W, thời gian vi sóng 60 s và thời gian lắc 25 phút. Tại điều kiện này, mô hình dự đoán hàm lượng astaxanthin đạt 44,60 $\mu\text{g/g}$, trong khi giá trị thực nghiệm thu được là $44,64 \pm 0,17 \mu\text{g/g}$, với sai lệch chỉ 0,09%. Kết quả này khẳng định độ tin cậy và khả năng dự đoán cao của mô hình.

So với các phương pháp truyền thống như ngâm dầm (24 giờ), Soxhlet (16 giờ) hoặc UAE-DES:Ethanol (33 phút)⁸, phương pháp vi sóng hỗ trợ trích ly (MAE) chỉ cần 60 giây nhưng vẫn đạt hàm lượng astaxanthin cao (44,64 $\mu\text{g/g}$). Hiệu quả này được giải thích bởi khả năng hấp thụ năng lượng vi sóng mạnh của hệ dung môi DES-ethanol, tạo ra quá trình gia nhiệt thể tích nhanh, phá vỡ cấu trúc tế bào và thúc đẩy quá trình chuyển khối astaxanthin vào dung môi trước khi xảy ra phân hủy nhiệt đáng kể. (Bảng 2)

Bảng 2. Kết quả phân tích phương sai của mô hình hồi quy

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	7	14.3727	14.3727	2.05324	7.98	0.007
Linear	3	8.7753	8.7753	2.92511	11.37	0.004
X1	1	1.702	1.702	1.70201	6.61	0.037
X2	1	0.0045	0.0045	0.00451	0.02	0.898
X3	1	7.0688	7.0688	7.0688	27.46	0.001
Square	3	4.2977	4.2977	1.43258	5.57	0.029
X1*X1	1	1.9983	2.4225	2.42252	9.41	0.018
X2*X2	1	1.7733	1.9141	1.91409	7.44	0.029

X3*X3	1	0.5262	0.5262	0.52618	2.04	0.196
Interaction	1	1.2996	1.2996	1.2996	5.05	0.059
X1*X2	1	1.2996	1.2996	1.2996	5.05	0.059
Residual Error	7	1.8016	1.8016	0.25738		
Lack-of-Fit	5	1.4966	1.4966	0.29933	1.96	0.371
Pure Error	2	0.305	0.305	0.1525		
Total	14	16.1743				

3.2. Đánh giá hiệu quả bảo quản thịt heo của chế phẩm khi kết hợp với màng chitosan

Trong quá trình bảo quản ở 4°C, giá trị pH, TBARS và tổng số vi sinh vật hiếu khí (TVC) của tất cả các mẫu đều tăng theo thời gian, phản ánh sự suy giảm chất lượng thịt (Bảng 3). So với mẫu không phủ màng, cả màng Ch-Gly và Ch-Gly-Ast đều làm chậm quá trình hư hỏng. Đặc biệt, chỉ số TBARS của mẫu Ch-Gly-Ast ở ngày thứ 12 thấp hơn mẫu Ch-Gly (0,84 so với 0,94 mg MDA/kg), cho thấy astaxanthin vẫn duy trì hoạt tính chống oxy hóa sau khi được tích hợp vào màng. (Bảng 3)

Bảng 3. Kết quả đo các chỉ tiêu qua thời gian bảo quản

Chỉ tiêu	Mẫu	Thời gian bảo quản ở 4°C (ngày)				
		0	3	6	9	12
pH	Mẫu không màng	5,54 ± 0,01	5,69 ± 0,01 ^a	6,09 ± 0,01 ^a	6,40 ± 0,02 ^a	6,88 ± 0,02 ^a
	Mẫu Ch-Gly		5,62 ± 0,02 ^b	5,94 ± 0,03 ^b	6,10 ± 0,02 ^b	6,46 ± 0,03 ^b
	Mẫu Ch-Gly-Ast		5,59 ± 0,01 ^b	5,89 ± 0,03 ^b	6,05 ± 0,02 ^b	6,42 ± 0,01 ^b
TBARS (mg/kg)	Mẫu không màng	0,18 ± 0,01	0,46 ± 0,01 ^a	0,85 ± 0,002 ^a	1,24 ± 0,05 ^a	1,59 ± 0,03 ^a
	Mẫu Ch-Gly		0,35 ± 0,03 ^b	0,55 ± 0,037 ^b	0,74 ± 0,03 ^b	0,94 ± 0,02 ^b
	Mẫu Ch-Gly-Ast		0,32 ± 0,02 ^b	0,50 ± 0,002 ^b	0,64 ± 0,04 ^b	0,84 ± 0,05 ^c
TVC (log CFU/g)	Mẫu không màng	4,15 ± 0,05	5,73 ± 0,11 ^a	7,65 ± 0,13 ^a	8,88 ± 0,13 ^a	9,57 ± 0,19 ^a
	Mẫu Ch-Gly		5,14 ± 0,11 ^b	6,55 ± 0,16 ^b	7,57 ± 0,11 ^b	8,26 ± 0,11 ^b
	Mẫu Ch-Gly-Ast		4,94 ± 0,11 ^b	6,24 ± 0,12 ^b	7,27 ± 0,06 ^c	7,86 ± 0,43 ^b

Hiệu quả này liên quan đến cấu trúc polyene liên hợp cùng các nhóm hydroxyl và keton của astaxanthin, cho phép hợp chất này bắt giữ gốc tự do và ức chế quá trình oxy hóa lipid. Tuy nhiên, mức cải thiện chưa thực sự lớn do astaxanthin có thể bị giữ lại trong mạng lưới polymer chitosan-glycerol, làm giảm tốc độ khuếch tán và giải phóng hoạt chất lên bề mặt thịt. Hiện tượng này tương tự cơ chế giải phóng chậm đã được Zhou và cộng sự³ ghi nhận đối với các màng sinh học nền chitosan.

Đối với chỉ tiêu vi sinh, mẫu Ch-Gly-Ast có giá trị TVC thấp hơn mẫu Ch-Gly tại ngày bảo quản thứ 6 và 9, đồng thời kéo dài thời gian đạt ngưỡng hư hỏng vi sinh (7 log CFU/g) từ khoảng 6 ngày lên 9 ngày. Mặc dù hiệu quả kháng khuẩn và kiểm soát pH còn hạn chế, có thể do hàm lượng astaxanthin bổ sung chưa đủ cao, kết quả vẫn cho thấy tiềm năng ứng dụng của dịch chiết astaxanthin như một chất chống oxy hóa tự nhiên trong vật liệu bao gói thực phẩm hoạt tính■

4. Kết luận

Điều kiện trích ly tối ưu gồm 330 W, 60 s và 25 phút, cho hàm lượng Astaxanthin đạt $44,64 \pm 0,17$ $\mu\text{g/g}$. Màng chitosan chứa dịch chiết ở tỷ lệ 1:20 giúp giảm oxy hóa lipid, ức chế sự phát triển vi sinh vật và kéo dài thời gian bảo quản thịt heo từ 6 lên 9 ngày ở 4°C.

Lời cảm ơn: *Nghiên cứu này do Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh bảo trợ và cấp kinh phí theo Hợp đồng số 69/HĐ-DCT ngày 17/01/2025.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- Bộ Khoa học và Công nghệ (2015). TCVN 11039-1:2015, Phụ gia thực phẩm - Phương pháp phân tích vi sinh vật - Phần 1: Xác định tổng số vi sinh vật hiếu khí bằng kỹ thuật đếm đĩa.
- B. Rønsholdt, E. McLean (2001). Determination of total carotenoid content in rainbow trout muscle by multivariate calibration of VIS reflectance spectra. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14, no. 4, 345-357.
- C. H. Tran, V. M. Phan, and T. H. A. Le (2024). Optimization of ultrasound-assisted extraction of astaxanthin from black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) shells using deep eutectic solvent and ethanol as a co-solvent. *LWT - Food Science and Technology*, 212, 116965.
- C. H. Tran, V. M. Phan, and T. H. A. Le (2025). Utilization of deep eutectic solvent and ethanol for the extraction of oil and astaxanthin from black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) shells. *Journal of Food Biochemistry*, 2025, 4288724.
- J. Hu, W. Lu, M. Lv, Y. Wang, R. Ding, and L. Wang (2019). Extraction and purification of astaxanthin from shrimp shells and the effects of different treatments on its content. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, vol. 29, no. 1, pp. 24-29.
- L. Grotta, F. Castellani, F. Palazzo, M. N. Haouet, and G. Martino (2017). Treatment optimisation and sample preparation for the evaluation of lipid oxidation in various meats through TBARs assays before analysis. *Food Analytical Methods*, 10(6), 1-11.
- L. Hultmann, T. M. Phu, T. Tobiassen, Ø. Aas-Hansen, and T. Rustad (2012). Effects of pre-slaughter stress on proteolytic enzyme activities and muscle quality of farmed Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Food Chemistry*, 134(3), 1399-1408.
- W. Zhou, J. Yu, L. Zhao, K. Wang, Z. Hu, J.-Y. Wu, and X. Liu (2024). Enhancement of chitosan-based film physicochemical and storage properties by interaction with proanthocyanidin and natural deep eutectic solvent. *International Journal of Biological Macromolecules*, 278, 134611.