NGHIÊN CỨU THỦY PHÂN VÂY CÁ NGỪ VÂY VÀNG (*THUNNUS ALBACARES*) BẰNG ENZYME BROMELAIN

STUDY ON HYDROLYZING YELLOWFIN TUNA (THUNNUS ALBACARES) FINS USING BROMELAIN

Nguyễn Trọng Bách[1*], Nguyễn Xuân Duy[1], Nguyễn Thị Thu Lam[1], Võ Song Hương[1], Đinh Văn Hiện[3], Phạm Văn Đạt[2], Huỳnh Nguyễn Duy Bảo[1]

1. Khoa Công nghệ Thực phẩm, Trường Thủy sản và Khoa học sự sống, Trường Đại học Nha Trang

2. Trung tâm Nghiên cứu và Chế biến Thực phẩm, Trường Đại học Nha Trang

3. Trung tâm dịch vụ việc làm Khánh Hòa, Sở Nội vụ tỉnh Khánh Hòa

Tác giả liên hệ: Nguyễn Trọng Bách, Email: ntbachnt@ntu.edu.vn

Ngày nhận bài: 17/02/2026; Ngày phản biện thông qua: 24/03/2026 ; Ngày duyệt đăng: 25/03/2026

TÓM TẮT

Ở nghiên cứu này, kết quả thủy phân vây cá ngừ vây vàng dùng enzyme bromelain được chứng minh là một giải pháp công nghệ xanh hiệu quả trong xử lý phụ phẩm thủy sản. Giải pháp không chỉ nâng cao hiệu suất thu hồi protein mà còn góp phần giải quyết vấn đề phụ phẩm trong ngành công nghiệp chế biến cá ngừ theo hướng bền vững và thân thiện với môi trường. Xử lý enzyme ở nhiệt độ 55 °C, tỉ lệ khối lượng enzyme so với cơ chất là 0,75% trong 4 giờ là điều kiện thủy phân thích hợp để làm chuyển hóa hiệu quả protein trong vây cá ngừ thành dịch thủy phân giàu giá trị dinh dưỡng. Dịch thủy phân thu được không xuất hiện vị đắng, có hàm lượng protein khoảng 76 g/L và hàm lượng canxi đạt 774 mg/L. Hơn nữa, sản phẩm chứa hàm lượng đáng kể các axit amin thiết yếu như leucine, lysine, threonine và valine, góp phần nâng cao giá trị sinh học của sản phẩm. Kết quả nghiên cứu cho thấy tiềm năng ứng dụng rộng rãi của dịch thủy phân vây cá ngừ trong phát triển các sản phẩm thực phẩm giàu dinh dưỡng, đồng thời mở ra hướng khai thác hiệu quả và bền vững nguồn phụ phẩm thủy sản trong tương lai.

Từ khóa: *bromelain, dịch thủy phân, phụ phẩm cá ngừ, vây cá ngừ, Thunnus albacares*

ABSTRACT

This study demonstrates that the hydrolysis of yellowfin tuna fins using bromelain enzyme is an effective green technology solution for processing seafood by-products. The solution not only improves protein recovery efficiency but also contributes to addressing the problem of by-products in the tuna processing industry in a sustainable and environmentally friendly manner. Enzymatic treatment at temperature of 55 °C, with an enzyme to substrate ratio of 0.75 wt% for 4 hours, is the suitable hydrolysis condition for efficiently converting tuna fin protein into a nutrient-rich hydrolysate. The resulting hydrolysate is not bitter, has a protein content of approximately 76 g/L, and a calcium content of 774 mg/L. Furthermore, the product contains significant amounts of essential amino acids such as leucine, lysine, threonine, and valine, contributing to the enhancement of the product's biological value. The result demonstrates the broad application potential of tuna fin hydrolysate in the development of nutrient-rich food products, while also opening up avenues for efficient and sustainable exploitation of seafood by-products in the future.

Keywords: *bromelain, hydrolysate, tuna by-product, tuna fin, Thunnus albacares*

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, cá ngừ là một trong số ít đối tượng thủy sản được chế biến xuất khẩu với số lượng lớn, nguồn nguyên liệu này được đánh bắt trong nước hoặc nhập khẩu để phục vụ nhu cầu nguyên liệu cho ngành chế biến thủy sản. Theo Hiệp hội chế biến và xuất khẩu thủy sản Việt Nam (VASEP, 2025) [1], trữ lượng cá ngừ của Việt Nam ước đạt hơn 200 nghìn tấn (cá ngừ vây vàng, cá ngừ mắt to, cá ngừ vằn và

các loại khác). Trong đó, cá ngừ vây vàng và cá ngừ mắt to có trữ lượng trung bình trên 45 nghìn tấn, với sản lượng khai thác hàng năm từ 17.000 đến 21.000 tấn. Tuy nhiên, theo thông tin từ tập đoàn Hải Vương, một tập đoàn lớn chuyên về chế biến xuất khẩu cá ngừ tại Việt Nam, lượng cá ngừ khai thác đánh bắt trong nước chỉ đáp ứng khoảng 10% nhu cầu nguyên liệu của doanh nghiệp.

Mỗi năm ngành chế biến thủy sản Việt Nam tạo ra một lượng phụ phẩm rất lớn, chiếm 30 - 60% khối lượng tùy loài nguyên liệu. Đối với ngành chế biến cá ngừ đại dương, đặc biệt là cá ngừ vây vàng (*Thunnus albacares*), phụ phẩm chiếm khoảng 34% tổng khối lượng [2], trong đó vây cá là nguồn phụ phẩm phổ biến nhưng chưa được khai thác theo hướng giá trị gia tăng. Phụ phẩm cá ngừ được tập trung nghiên cứu chính như da, đầu, xương và nội tạng. Trong đó, chỉ riêng vây cá ngừ chiếm 1 - 2% khối lượng phụ phẩm [2, 3]. Chúng chứa hàm lượng protein cao (khoảng 18,75 - 24,40%)[4, 5], giàu collagen và gelatin tự nhiên, có nhiều tiềm năng sản xuất peptide hoạt tính sinh học, dùng làm nguyên liệu thực phẩm, thức ăn chăn nuôi cao cấp hoặc sản phẩm dược phẩm bổ sung dinh dưỡng. Nhưng hiện nay phần lớn vây cá ngừ được sử dụng ở dạng sấy khô làm thức ăn chăn nuôi hoặc thải bỏ, gây thất thoát giá trị và tạo áp lực lên môi trường.

Trong bối cảnh xu hướng phát triển công nghệ xanh - bền vững ngày càng được thúc đẩy mạnh mẽ, các phương pháp thủy phân protein sử dụng enzyme đang trở thành lựa chọn ưu tiên trong xử lý và chuyển hóa phụ phẩm thủy sản [6 - 18]. So với phương pháp thủy phân bằng axit hoặc kiềm, thủy phân bằng enzyme có nhiều ưu điểm nổi bật như: điều kiện phản ứng nhẹ, tiết kiệm năng lượng, hạn chế tạo sản phẩm phụ không mong muốn, đồng thời giữ nguyên hoặc nâng cao chất lượng peptide thu được [19]. Enzyme thuộc nhóm protease được dùng để thủy phân nguồn protein từ phụ phẩm thủy sản như papain hay bromelain thủy phân phụ phẩm cá đồng, cá tra (đầu, xương, vây, đuôi, da) [10, 20], protamex thủy phân phụ phẩm cá ngừ (đầu, nội tạng, đuôi) [9], alcalase thủy phân thịt sẫm cá ngừ vây vàng [21, 22] hay thủy phân collagen, gelatin từ da cá ngừ vây vàng [11, 23] tạo peptide có hoạt tính chống oxy hóa,…

Hiệu quả của quá trình xử lý enzyme thủy phân protein phụ thuộc vào nhiều yếu tố như nhiệt độ, pH, tỉ lệ enzyme và cơ chất, và thời gian thủy phân [8, 10, 12, 21, 22, 24 - 28]. Biên độ xử lý của mỗi yếu tố ảnh hưởng phụ thuộc vào từng loại enzyme hay cùng một loại enzyme thì hiệu quả thủy phân còn phụ thuộc vào cơ chất được thủy phân [13]. Đa số các enzyme protease được công bố có dải pH trung tính hoặc kiềm, nhiệt độ thủy phân phù hợp tùy loại enzyme nhưng cơ bản là trên 40 ^{o}C. Gajanan và cộng sự (2016) chỉ ra rằng khi sử dụng bromealin với tỉ lệ E/S = (0,22; 0,91 và 3,79)%, ở điều kiện 50 ^{o}C và pH = 6,7 ± 0,2 thì sau một giờ thủy phân hỗn hợp phụ phẩm cá đồng (đầu, xương, vây vẩy và đuôi cá) có hàm lượng protein thô là 18,49 ± 0,09% thì thu được sản phẩm thủy phân có hoạt tính chống oxy hóa và khả năng ức chế men chuyển (ACE) cao [10]. Trong khi đó, trên đối tượng phụ phẩm (da, mang, nội tạng, vây và đầu) của cá ngừ vây vàng, Parvathy và cộng sự (2016) đã dùng bromelain có tỉ lệ E/S = 0,5% để thủy phân ở 55 ^{o}C tại pH = 6,5, kết quả cho sản phẩm thủy phân có hàm lượng axit amin thiết yếu cao, có hoạt tính sinh học mạnh và rất phù hợp cho những ứng dụng sản phẩm thủy phân này như một chất chống oxy hóa trong hệ thực phẩm [24].

Trong nhóm các enzyme protease, bromelain - được chiết xuất từ dứa, được đánh giá cao bởi tính an toàn, khả năng thủy phân mạnh mẽ với nhiều loại protein collagen [29] và khả năng ứng dụng rộng rãi trong chế biến thực phẩm [3]. Một số nghiên cứu trên thế

giới đã chứng minh bromelain có hiệu quả cao trong thủy phân protein từ da, xương, gân, vảy của các loài cá khác nhau, tạo ra các peptide có hoạt tính chống oxy hóa, kháng khuẩn và tăng cường sức khỏe [10, 24]. Tuy nhiên, nghiên cứu ứng dụng bromelain trong thủy phân vây cá ngừ vây vàng tại Việt Nam còn rất hạn chế, đặc biệt là trong việc tìm ra các thông số công nghệ phù hợp như nhiệt độ, pH, tỉ lệ enzyme, thời gian thủy phân nhằm thu được dịch thủy phân có chất lượng cao và giá trị ứng dụng tốt. Do đó, việc tìm ra quy trình thủy phân phù hợp cho vây cá ngừ vây vàng là cần thiết và có ý nghĩa khoa học - thực tiễn nhằm nâng cao giá trị nguồn phụ phẩm này. Việc thực hiện nghiên cứu này không chỉ góp phần tận dụng hiệu quả nguồn phụ phẩm từ ngành chế biến cá ngừ, mà còn hướng đến mục tiêu sản xuất các sản phẩm peptide giàu giá trị sinh học, có thể ứng dụng trong công nghiệp thực phẩm, dược phẩm và thức ăn thủy sản cao cấp. Điều này phù hợp với định hướng phát triển kinh tế tuần hoàn, giảm thiểu chất thải và nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên thủy sản tại Việt Nam.

II. NGUYÊN LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Nguyên liệu

1.1. Nguyên liệu chính

Vây cá ngừ vây vàng được thu mua từ Công ty TNHH Thủy sản Dương Tuấn Phát, phường Hòa Nhơn Bắc, tỉnh Gia Lai (Hình 1). Vây cá được cấp đông, đóng trong thùng cách nhiệt bằng styrofoam, đậy nắp và dán kín bằng băng keo, sau đó vận chuyển về phòng thí nghiệm Trường Đại học Nha Trang trong vòng 3 giờ. Tại phòng thí nghiệm, vây cá được đóng gói trong túi PA 5 kg/túi được hút chân không và bảo quản đông lạnh ở -20 ± 2 °C để phục vụ cho nghiên cứu.

Hình 1: Vây cá ngừ vây vàng (A) và Vây cá ngừ vây vàng xay (B).

1.2. Nguyên liệu phụ và hóa chất

Enzyme Bromelain là loại protease thương mại có hoạt lực 2.000 UI/g và hoạt động tốt ở pH 6 - 8. Sản phẩm của Công ty cổ phần hóa dược và Công nghệ sinh học Biogreen, Việt Nam.

Giấm ăn dùng để khử mùi là giấm ăn tinh luyện ATK, sản phẩm thương mại của Công ty cổ phần xuất nhập khẩu A Tuấn Khang, Việt Nam.

Hóa chất được sử dụng trong nghiên cứu của hãng Xilong Scientific và Sigma-Aldrich đạt chuẩn hóa chất phân tích.

2. Phương pháp nghiên cứu và xử lý số liệu

2.1. Bố trí thí nghiệm

Nguyên liệu vây cá ngừ vây vàng được rửa sạch để ráo trước khi được khử mùi trong dung dịch giấm ăn 2% với tỉ lệ w/v = 1/5 trong 30 phút. Sau đó vây cá được rửa sạch bằng nước sạch ba lần, để ráo và bảo quản trong tủ đông -20 ^{o}C trong 60 phút. Tiếp theo vây cá được

xay nhỏ bằng máy xay công nghiệp TA57D (DIDACTA, Italia) có kích thước mắt sàng 8 mm. Hỗn hợp vây cá xay và nước (w/v = 1/2) được đặt trong bể ổn nhiệt ở 90 °C trong 30 phút. Mẫu nhanh chóng được làm nguội bằng nước ở nhiệt độ phòng trước khi thủy phân bằng enzyme bromelain. Hỗn hợp sau thủy phân được gia nhiệt ở 90 °C trong 20 phút để bất hoạt enzyme trước khi lọc để thu phần dịch lỏng bằng phễu lọc polyester có mắt lưới 400 mesh.

Để tìm các thông số thủy phân thích hợp, nghiên cứu được thực hiện theo phương pháp bố trí thí nghiệm cổ điển. Trước tiên khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ (45, 50, 55 và 60 °C) trong 3 giờ. Tiếp theo nghiên cứu ảnh hưởng của tỉ lệ khối lượng enzym/vây cá (E/S) ở các giá trị 0,1; 0,25; 0,5; 0,75 và 1,0% trong 3 giờ ở nhiệt độ tìm được trước đó. Cuối cùng là khảo sát thời gian thủy phân nào giúp quá trình thủy phân đạt hiệu suất thu hồi protein cao, các mốc thời gian khảo sát là 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; và 7 giờ.

2.2. Phương pháp phân tích, đánh giá

2.2.1. Phương pháp xác định một số thành phần cơ bản

Hàm lượng protein được xác định theo TCVN 3705:1990 và hàm lượng canxi theo CASE.TN.0017 (2021) (Ref. AOAC 985.35; AOAC 985.01).

2.2.2. Phương pháp xác định hàm lượng axit amin

Axit amin được xác định theo phương pháp của Trung tâm dịch vụ phân tích thí nghiệm và tiêu chuẩn đo lường chất lượng Thành phố Hồ Chí Minh, CASE.SK.0138 (2020) (Tham khảo theo TCVN 8764:2012).

2.2.3. Phương pháp xác định hiệu suất thu hồi protein

Hiệu suất thu hồi protein (HS) được xác định theo công thức sau:

$$\text{HS (\%)} = \frac{m_{tp}}{m_{nl}} \times 100$$

Trong đó:

m_{nl}: Hàm lượng protein trong nguyên liệu được xác định theo phương pháp Kjeldahl

m_{tp}: Hàm lượng protein trong dịch thủy phân được xác định theo phương pháp Bradford

2.2.4. Phương pháp xác định độ nhớt

Đo độ nhớt của dịch thủy phân được xác định theo Nguyễn Trọng Bách và cộng sự (2024) [30]. Mẫu dịch thủy phân được đo ở 20 °C (nhiệt độ phòng) và ở 5 °C (được giữ trong ngăn lạnh của tủ lạnh 16 giờ trước khi đo). Độ nhớt của dịch thủy phân được đo bằng thiết bị Brookfield DVE Digital Viscometer (Model DVELV, Brookfield AMETEK, USA) sử dụng đầu đo số 61 tại tốc độ quay 100 vòng/phút. 50 ml dịch thủy phân được đựng trong ống đựng mẫu có đường kính 30 mm và được duy trì nhiệt độ bằng cách đặt trong bể ổn nhiệt điều khiển kỹ thuật số (DAIHAN Scientific Bath Circulator, Hàn Quốc). Để tránh sự bay hơi mẫu, các ống đựng mẫu được đậy nắp inox trong quá trình ổn định nhiệt độ và đo độ nhớt.

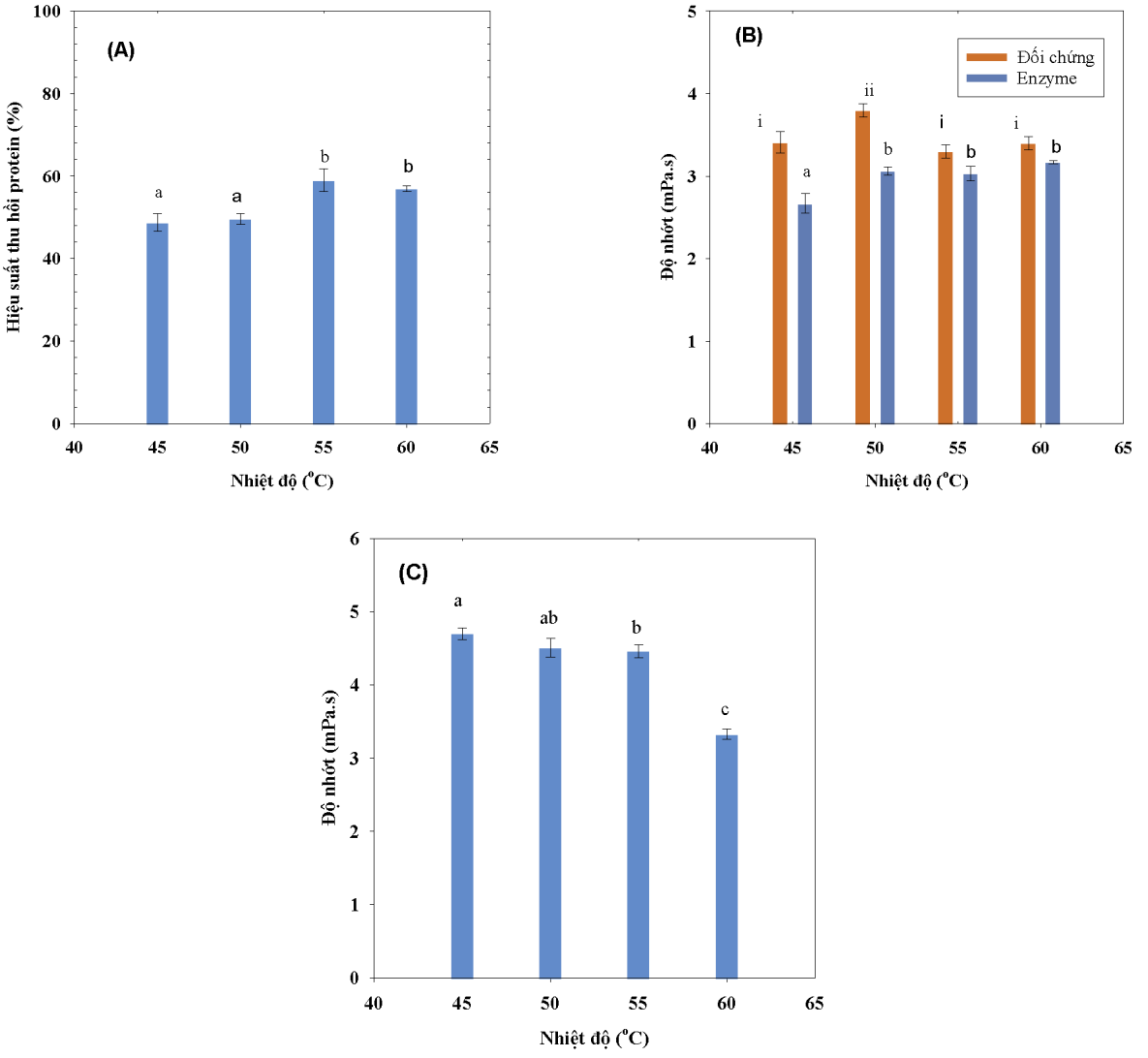
2.3. Xử lý số liệu

Số liệu trình bày trong bài báo này là giá trị trung bình của 3 lần thí nghiệm. Tính giá trị trung bình sử dụng phần mềm Microsoft Excel 2013, vẽ biểu đồ sử dụng phần mềm SigmaPlot 14.5 (Systat Software, Inc., Đức). Sự khác biệt có ý nghĩa về mặt thống kê ($P < 0,05$) của các giá trị trung bình được phân tích bằng phương pháp phương sai (ANOVA) trên phần mềm IBM SPSS Statistics 26 (IBM Corp, USA) sử dụng kiểm định Duncan với mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$.

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

1. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến hiệu quả thủy phân

Kết quả Hình 2 cho thấy có sự khác biệt đáng kể ($P < 0,05$) về hiệu suất thu hồi protein khi thủy phân ở nhiệt độ 55 °C hay 60 °C khi so sánh với điều kiện thủy phân ở nhiệt độ 45 °C hay 50 °C (Hình 2A). Hiệu suất thu hồi protein ở 55 °C cao hơn khi điều kiện thủy phân ở nhiệt độ thủy phân thấp hơn nhưng không tăng khi thủy phân ở nhiệt độ 60 °C.



Hình 2: Hiệu suất thu hồi protein (A), độ nhớt của dịch thủy phân ở 20°C (B) và ở 5°C (C) tại các nhiệt độ thủy phân. *Các giá trị có chữ cái ký hiệu trên cột khác nhau thì khác biệt có ý nghĩa thống kê (P < 0,05).*

Độ nhớt của dịch protein không sử dụng enzyme (đối chứng) khi đo ở nhiệt độ 20 °C luôn cao hơn độ nhớt của dịch thủy phân ở cùng một điều kiện xử lý (Hình 2B). Điều này cũng được thể hiện bằng việc quan sát mẫu ở Hình 3 (trái), dưới tác dụng của enzyme, protein (collagen/gelatin) bị cắt mạch mạnh tạo polypeptide nên phân tử lượng protein giảm làm giảm độ nhớt (trạng thái lỏng) [31], trong khi đó mẫu đối chứng chứa collagen/gelatin tạo gel khi các mẫu này được hạ nhiệt độ xuống 5 °C trong 16 giờ. Với mẫu đối chứng, độ nhớt tăng khi tăng nhiệt độ xử lý từ 45 °C lên 50 °C, sau đó giảm và không có sự khác biệt ở các nhiệt độ 45, 55 và 60 °C. Điều này là do tác dụng của nhiệt, gelatin tạo thành tăng khi tăng nhiệt độ lên 50 °C, nhưng cũng dưới tác dụng của nhiệt, sau 3 giờ xử lý, gelatin có thể bị cắt mạch bởi nhiệt nên có độ nhớt thấp hơn mẫu xử lý ở 50 °C. Còn mẫu xử lý enzyme, độ nhớt tăng khi tăng nhiệt độ xử lý từ 45 °C lên 50 °C, sau đó không

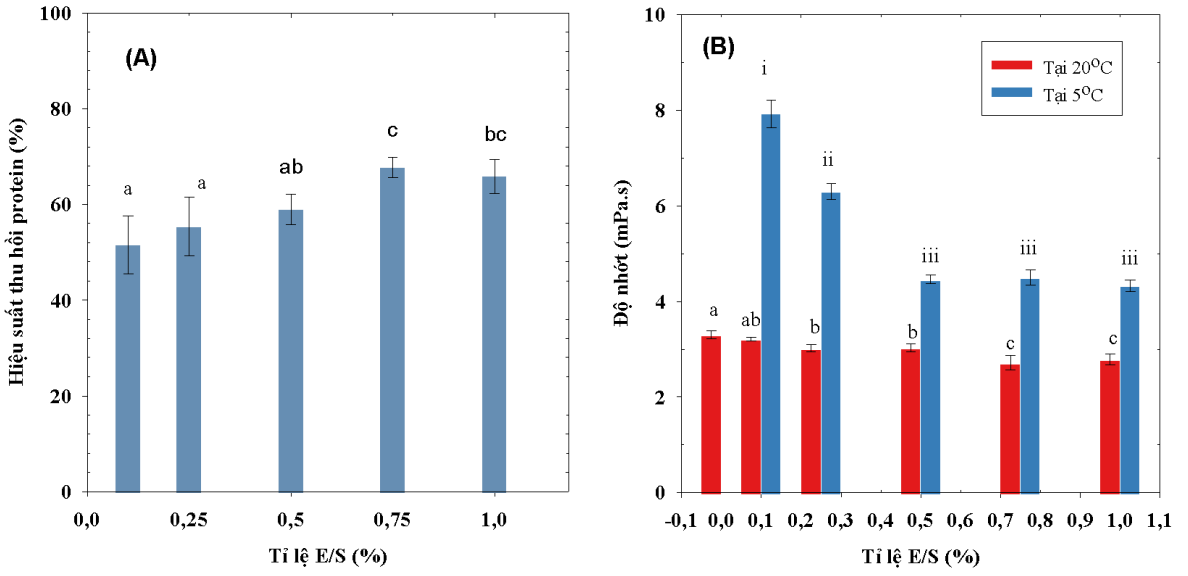
có sự khác biệt khi nhiệt độ tăng. Độ nhớt tăng là do tăng nồng độ protein của dịch thủy phân thu được [30, 31]. Ảnh hưởng của sự cắt mạch protein bởi enzyme còn được thể hiện rõ khi đo độ nhớt của dịch thủy phân khi được hạ nhiệt độ xuống 5 °C (Hình 2C), độ nhớt giảm dưới tác dụng của enzyme và nhiệt độ cao, mặc dù hàm lượng protein trong dịch thủy phân tăng thông qua hiệu suất thu hồi tăng (Hình 2A). Ở 5 °C, các mẫu đối chứng hình thành trạng thái gel, tuy nhiên độ bền gel của mẫu đối chứng hoàn toàn khác nhau, tại nhiệt độ xử lý thấp nhất, độ bền gel cao nhất và giảm dần khi mẫu được xử lý ở nhiệt độ cao hơn (Hình 3 (phải)), mặc dù nồng độ protein tăng khi tăng nhiệt độ, điều này chứng tỏ dưới tác động của nhiệt, collagen/gelatin bị tác động cắt mạch làm yếu hệ gel ở nhiệt độ thấp.

Hình 3: Mẫu có và không sử dụng enzyme (trái) và mẫu đối chứng (phải) ở nhiệt độ 5 °C.

Như vậy, nhiệt độ 55 °C thích hợp để thủy phân vây cá ngừ vây vàng cho dịch thủy phân có hiệu suất thu hồi protein cao. Kết quả này cũng tương tự công bố của Nurdiani và cộng sự (2024) khi nghiên cứu thủy phân thịt vụn cá da trơn bằng enzyme bromelain [32] hay Yumni và công sự (2025) dùng bromelain để thủy phân cá cơm [33]; cũng như Parvathy và cộng sự (2016) đã dùng bromelain để thủy phân hỗn hợp phụ phẩm cá ngừ (đầu, da, nội tạng,...) ở 55 °C [24].

2. Ảnh hưởng của tỉ lệ E/S đến hiệu quả thủy phân

Khi thủy phân ở 55°C, hiệu suất thu hồi protein và độ nhớt của dịch thủy phân ở các tỉ lệ enzyme/vây cá xay (E/S) khác nhau được trình bày ở Hình 4A và 4B. Kết quả cho thấy hiệu suất thu hồi protein tăng khi tăng tỉ lệ E/S, ở tỉ lệ E/S 0,1% và 0,25% hiệu suất thu hồi protein không có sự khác biệt và đạt giá trị thấp nhất (khoảng 51,2 ± 6,0%), khi sử dụng tỉ lệ E/S cao hơn sẽ làm tăng hiệu suất thu hồi protein ($P < 0,05$) và đạt giá trị cao nhất ở tỉ lệ E/S 0,75% (67,8 ± 2,13%). Kết quả cho thấy ở tỉ lệ E/S sử dụng khá thấp cũng đã cho hiệu suất thu hồi protein trên 50%, điều này là do collagen trong vây cá ngừ được chiết tách bởi nhiệt, bên cạnh đó cũng do tính đặc hiệu của enzyme bromelain đối với collagen trong vây cá. Công bố của Rahmi Nurdiani và cộng sự (2024) khi nghiên cứu thủy phân thịt vụn cá da trơn bằng enzyme bromelain ở các tỉ lệ từ 0,01 - 0,07% trong khoảng thời gian từ 0,6 - 3,4 giờ. Kết quả cho thấy khi thủy phân với tỉ lệ E/S = 0,04% và 2,8 giờ cho độ thủy phân (DH) và khả năng khử gốc tự do DPPH tốt nhất [32]. Hay hỗn hợp phụ phẩm cá ngừ được Parvathy và cộng sự (2016) dùng bromelain với tỉ lệ E/S = 0,5% để thủy phân, kết quả cho sản phẩm thủy phân có hàm lượng axit amin thiết yếu cao, có hoạt tính sinh học mạnh [24].



Hình 4: Hiệu suất thu hồi protein (A) và độ nhớt của dịch thủy phân (B) tại các tỉ lệ E/S khác nhau. *Các giá trị có chữ cái khác nhau thì khác biệt có ý nghĩa thống kê (P < 0,05).*

Ảnh hưởng của nhiệt đến hiệu quả chiết tách protein từ vây cá còn được thể hiện ở kết quả đo độ nhớt của dịch thủy phân tại nhiệt độ phòng (20 °C), độ nhớt đạt trên 3 mPa.s ngay cả khi dùng enzyme (Hình 4B). Tuy nhiên, có sự khác biệt lớn giữa việc có và không dùng enzyme, khi tỉ lệ E/S tăng lên độ nhớt của dịch thủy phân giảm, đặc biệt là khi dịch thủy phân được làm lạnh và đo độ nhớt ở 5 °C. Điều này là do dưới tác dụng của enzyme bromelain, khi tỉ lệ sử dụng cao, chuỗi polypeptide bị cắt mạch mạnh, làm cho độ nhớt giảm. Tuy nhiên khi tỉ lệ E/S trên 0,5% độ nhớt của dịch thủy phân không giảm, điều này có thể là độ dài peptide sẽ không quyết định độ nhớt nữa mà độ nhớt phụ thuộc vào nồng độ protein tạo thành [31].

Rõ ràng, nếu xét về độ nhớt của dịch thủy phân thì tại tỉ lệ E/S = 0,5% là đủ để thủy phân vây cá ngừ vây vàng. Kết quả này tương tự như nghiên cứu của Parvathy và cộng sự (2016) khi thủy phân hỗn hợp phụ phẩm cá ngừ [24]. Tuy nhiên, để có hiệu suất thu hồi protein tốt hơn thì 0,75% là tỉ lệ E/S phù hợp nhất để thủy phân vây cá ngừ vây vàng.

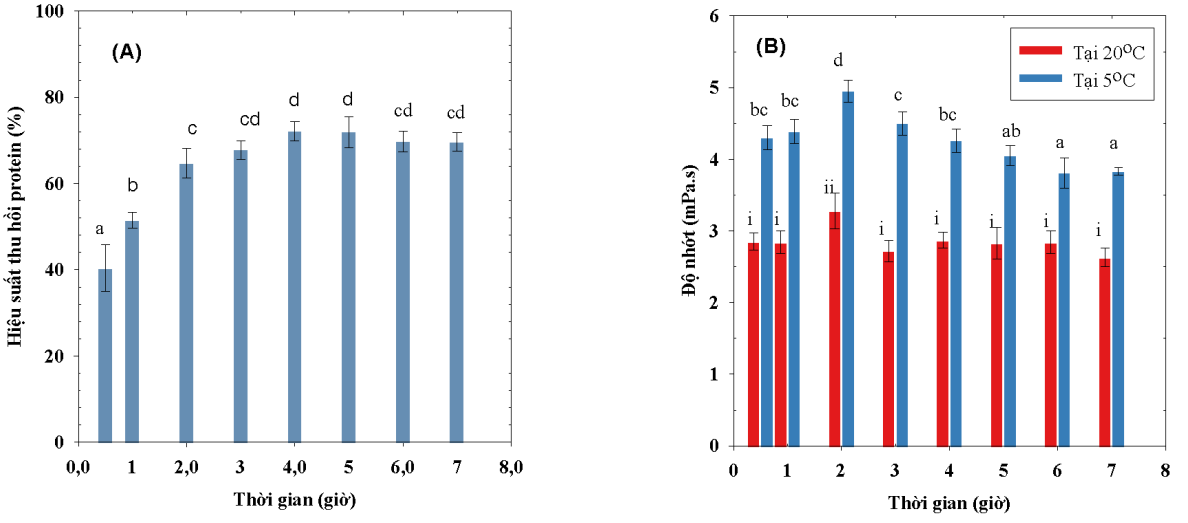
3. Ảnh hưởng của thời gian đến hiệu quả thủy phân

Hình 5A và 5B trình bày kết quả xác định hiệu suất thu hồi protein và độ nhớt của dịch thủy phân sau các khoảng thời gian thủy phân khác nhau. Kết quả chỉ ra hiệu suất thu hồi protein tăng mạnh ở 4 giờ đầu thủy phân, sau đó không có sự thay đổi đáng kể (Hình 5A). Rõ ràng hiệu lực cắt mạch của bromelain khá sớm, chỉ sau vài chục phút protein trong vây cá được cắt mạch. Kết quả này được một số công bố chỉ ra khi thủy phân các nguồn protein từ cá khác nhau. Parvathy và cộng sự (2016) thủy phân hỗn hợp phụ phẩm cá ngừ chỉ sau 15 phút và dịch thủy phân có khả năng khử gốc tự do DPPH tốt sau 45 phút [24]; hay thịt vụn cá da trơn được Nurdiani và cộng sự (2024) dùng bromelain thủy phân ở tỉ lệ E/S = 0,04% thì sau 2,8 giờ cho độ thủy phân và khả năng khử gốc tự do DPPH cao nhất [32].

Hiệu quả cắt mạch polypeptide của bromelain còn được thể hiện thông qua độ nhớt của dịch thủy phân. Độ nhớt của dịch thủy phân ở các khoảng thời gian thủy phân khác nhau không có sự khác biệt đáng kể khi tiến hành đo ở nhiệt độ 20 °C (P > 0,05). Tuy nhiên, giá trị độ nhớt có sự khác biệt khi xác định ở nhiệt độ 5 °C (Hình 5B). Độ nhớt tăng và cao nhất đối với dịch thủy phân sau 2 giờ, điều này là do nồng độ protein (collagen-gelatin)

trong dịch thủy phân tăng. Ở nhiệt độ thấp mạch polypeptide có xu hướng sắp xếp lại bền vững hơn bởi liên kết hydro mạnh dần, kết quả là độ nhớt của dịch thủy phân tăng. Nhưng khi thủy phân kéo dài, độ nhớt giảm mặc dù hiệu suất thu hồi protein vẫn tăng (do lượng protein tăng), độ nhớt dịch thủy phân lại giảm, nguyên nhân do chuỗi peptide bị bromelain đặc hiệu cắt mạch tạo polypeptide mạch ngắn làm giảm độ nhớt.

Như vậy, dựa vào kết quả so sánh hiệu suất thu hồi protein và sự cắt mạch chuyển hóa thành polypeptide mạch ngắn thì 4 giờ là thời gian phù hợp để thủy phân vây cá ngừ vây vàng thu dịch thủy phân ứng dụng trong việc phát triển các sản phẩm thực phẩm.



Hình 5: Sự thay đổi hiệu suất thu hồi protein (A) và độ nhớt của dịch thủy phân (B) theo thời gian thủy phân. *Các giá trị có chữ cái ký hiệu trên cột khác nhau thì khác biệt có ý nghĩa thống kê (P < 0,05).*

Đánh giá cảm quan của dịch thủy phân thu được không có vị đắng, chứa hàm lượng protein khoảng 76 g/L và hàm lượng canxi cao, khoảng 774 mg/L. Tỉ lệ % thành phần các axit amin so với tổng lượng axit amin trong dịch thủy phân được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1: Tỉ lệ % thành phần các axit amin so với tổng lượng axit amin trong dịch thủy phân ở điều kiện thủy phân phù hợp

Axit amin	% so với lượng axit amin tổng
Alanine	10,70
Arginine	8,29
Aspartic acid	5,88
Glutamic acid	12,03
Glycine	23,53
Histidine	1,07
Isoleucine	1,60
Leucine	3,21
Lysine	4,55
Methionine	1,34

Axit amin	% so với lượng axit amin tổng
Phenylalanine	2,41
Proline	13,64
Serine	4,28
Threonine	3,48
Tyrosine	1,34
Valine	2,67

IV. KẾT LUẬN

Ở nghiên cứu này, việc ứng dụng enzyme bromelain để thủy phân vây cá ngừ vây vàng được chứng minh là một giải pháp công nghệ xanh hiệu quả trong xử lý phụ phẩm thủy sản. Phương pháp này không chỉ nâng cao hiệu suất thu hồi protein mà còn góp phần giải quyết vấn đề phụ phẩm trong ngành công nghiệp chế biến cá ngừ theo hướng bền vững và thân thiện với môi trường. Nhiệt độ, tỉ lệ enzyme so với vây cá và thời gian thủy phân lần lượt là 55 ^{o}C, E/S = 0,75% trong 4 giờ là những thông số thủy phân thích hợp để tác động làm chuyển hóa hiệu quả protein trong vây cá thành dịch thủy phân giàu giá trị dinh dưỡng. Dịch đạm thu được không xuất hiện vị đắng, có hàm lượng protein đạt khoảng 76 g/L và hàm lượng canxi đạt 774 mg/L. Đặc biệt, sản phẩm chứa hàm lượng đáng kể các axit amin thiết yếu như leucine, lysine, threonine và valine sẽ góp phần nâng cao giá trị sinh học của sản phẩm. Những kết quả này cho thấy tiềm năng ứng dụng rộng rãi của dịch thủy phân vây cá ngừ trong phát triển các sản phẩm thực phẩm giàu dinh dưỡng, đồng thời mở ra hướng khai thác hiệu quả và bền vững nguồn phụ phẩm thủy sản trong tương lai.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi nguồn ngân sách khoa học và công nghệ của Trường Đại học Nha Trang trong đề tài mã số TR2025-13-28.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. 1. Chu Khôi (2025). *Xuất khẩu cá ngừ gần chạm ngưỡng 1 tỷ USD*. Tạp chí VnEconomy, https://vneconomy.vn/xuat-khau-ca-ngu-gan-cham-nguong-1-ty-usd.htm (Truy cập ngày 26/01/2026)
2. 2. Sayana K.S., and T.K. Sirajudheen (2017), *By-products from Tuna processing wastes- an economic approach to coastal waste management,* Proceedings of the International Seminar on Coastal Biodiversity Assessment, COBIA 2017, p. 411- 420.
3. 3. Nikoo, M., Regenstein, J.M. and Yasemi M. (2023), *Protein Hydrolysates from Fishery Processing By-Products: Production, Characteristics, Food Applications, and Challenges,* Foods, 12 (24).
4. 4. Jayaweera, D.D., Dargentolle, C., Kuganathan, S. (2024), *Nutritional composition and fatty acid profile of Yellowfin Tuna (Thunnus albacares) by-products in Sri Lanka,* Vingnanam Journal of Science, 19 (1), p. 21- 28.
5. 5. Aewsiri, T., Benjakul, S., Visessanguan, W., Tanaka, M (2008), *Chemical compositions and functional properties of gelatin from pre-cooked tuna fin,* International Journal of Food Science & Technology, 43 (4), p. 685-693.
6. 6. Guerard, F., L.D., D. De La Broise, Binet, A. (2001), *Enzymatic hydrolysis of protein from yellow fin tuna (Thumus albacares) wastes with alcalase.* Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic, 11, p. 1051–1059.

7. 7. Safari, R., Motamedzadegan, A., Ovissipour, M., Regenstein, J.M., Gildberg, A., Rasco, B. (2009), *Use of Hydrolysates from Yellowfin Tuna (Thunnus albacares) Heads as a Complex Nitrogen Source for Lactic Acid Bacteria,* Food and Bioprocess Technology, 5 (1), p. 73-79.
8. 8. Himonides, A.T., Taylor, A.K.D. and Morris, A.J. (2011), *A Study of the Enzymatic Hydrolysis of Fish Frames Using Model Systems,* Food and Nutrition Sciences, 02 (06), p. 575-585.
9. 9. Nguyen, T.M.H, Khalifa S.B.S., Zo R., Clair Donnay-Moreno, Jacques M., Tran T.L. and Jean P.B (2011), *Enzymatic Hydrolysis of Yellowfin Tuna (Thunnus albacares) By-Products Using Protamex Protease,* Food Technology and Biotechnology, 49, p. 48-55.
10. 10. Gajanan, P.G., Elavarasan, K. and Shamasundar, B.A. (2016), *Bioactive and functional properties of protein hydrolysates from fish frame processing waste using plant proteases,* Environ Sci Pollut Res Int, 23 (24), p. 24901-24911.
11. 11. Nguyen, B.C., Nguyen, X.H.M., Nguyen, N.K.H., Kha, C.T. (2021), *Functional Properties of Yellowfin Tuna (Thunnus albacares) Skin Collagen Hydrolysate Fraction obtained by Ultrafiltration Purification,* Current Research in Nutrition and Food Science Journal, 9 (3), p. 841-854.
12. 12. Sierra-Lopera, L.M. and J.E. Zapata-Montoya (2021), *Optimization of enzymatic hydrolysis of red tilapia scales (Oreochromis sp.) to obtain bioactive peptides,* Biotechnol Rep (Amst), 30, p. e00611.
13. 13. Truong, T. M.T., Le, T.M.T., Tran, T.T. (2023), *Effects of material types and enzymatic hydrolysis treatments on the production of fish protein hydrolysate powder from snakehead fish (Channa striata) head by using endoproteases and exoproteases,* AACL Bioflux, 16 (5), p. 2495-2505.
14. 14. Sisa, A., Martinez-Alvarez, O., Gomez-Estaca, J., Mosquera, M. (2024), *Valorization of Yellowfin Tuna Tails: From Proteolytic Enzyme Production to Gelatin and Antioxidant Hydrolysate Extraction,* Foods, 13 (13).
15. 15. Perez-Galvez, R., Espejo-Carpio, F. J., Garcia-Moreno, P. J., Guadix, A., Guadix, E. M. (2025), *Processing of Tuna Head By-Products into Antioxidant Peptide Ingredients for Aquaculture Feeds,* Antioxidants (Basel), 14 (7).
16. 16. Dian, H., Andriati N., and Lucia, D.W. (2025), *Characterization of yellowfin tuna (Thunnus albacares) skin gelatin extracted by bromelain hydrolysis and ultrasound pre-treatment,* Journal of Food Science, 90 (1), p. e17610.
17. 17. Vázquez, J.A., Pedreira, A., Durán, S., Cabanelas, D., Souto-Montero, P., Martínez, P., Mulet, M., Pérez-Martín, R., Valcarcel, J. (2022), *Biorefinery for tuna head wastes: Production of protein hydrolysates, high-quality oils, minerals and bacterial peptones.* Journal of Cleaner Production, 357.
18. 18. Nemati, M., Shahosseini, S.R. and Ariaii, P. (2024), *Review of fish protein hydrolysates: production methods, antioxidant and antimicrobial activity and nanoencapsulation,* Food Sci Biotechnol, 33 (8), p. 1789-1803.
19. 19. Hou, Y., Wu, Z., Dai, Z., Wang, G., Wu, G. (2017), *Protein hydrolysates in animal nutrition: Industrial production, bioactive peptides, and functional significance,* J Anim Sci Biotechnol, 8, p. 24.
20. 20. Ace B., Shanti, D., and Ida D. (2016), *Collagen Hydrolysis from skin and bone of Pangasius catfish Prepared by Bromelain Enzyme and Antioxidant Activity of Hydrolysate.* Der Pharma Chemica, 8 (4), p. 155-158.
21. 21. Nguyễn Trọng Bách, Đinh Thị Huyền Trang, Nguyễn Hồng Ngân, Nguyễn Bảo. Nguyễn Thị Kim Cúc, Huỳnh Nguyễn Duy Bảo (2021), *Ảnh hưởng của điều kiện thủy phân protein tách chiết từ thịt sẫm cá ngừ vây vàng (thunnus albacares) bằng enzyme alcalase đến hoạt tính chống oxy hoá của dịch thủy phân,* Tạp chí Nông nghiệp và phát triển nông thông, 15, p. 135-142.

22. 22. Nguyen, B.T., Nguyen, N.H., Nguyen, C.K.T., Do, H.M., Nguyen, B., Prinyawiwatkul, W., Huynh, B.N.D. (2025), *Antioxidant potential of peptide fractions from tuna dark muscle protein isolate: A green enzymatic approach.* Green Processing and Synthesis, 14 (1).
23. 23. Nurilmala, M., Hizbullah, H.H., Karnia, E., Kusumaningtyas, E., Ochiai, Y. (2020), *Characterization and Antioxidant Activity of Collagen, Gelatin, and the Derived Peptides from Yellowfin Tuna (Thunnus albacares) Skin,* Mar Drugs, 18 (2).
24. 24. Parvathy, U., A.A.Z., Panda, S.K., Jeyakumari, A., and Anandan, R. (2016), *Extraction of Protein from Yellowfin Tuna (Thunnus albacares) Waste by Enzymatic Hydrolysis and its Characterization,* Fishery Technology, 53, p. 115-124.
25. 25. Nguyễn Chí Thanh, Nguyễn Ngọc Hà, Nguyễn Phúc Cẩm Tú (2019), *Ảnh hưởng của các yếu tố đến quá trình thủy phân protein từ phụ phẩm cá lưỡi trâu bằng enzyme alcalase,* Tạp chí Khoa học - Công nghệ Thủy sản, 4, p. 106-114.
26. 26. Trần Trung Thanh Bình, Nguyễn Thị Nghĩa, Bùi Xuân Đông (2019), *Nghiên cứu quá trình tự phân cơ thịt đỏ cá ngừ nhằm thu hồi dịch đạm thủy phân,* Tạp chí khoa học và công nghệ Đại học Đà Nẵng, 17 (1.1), p. 1-5.
27. 27. Denis, M., Pham, H.D., and Nguyen, M.V. (2023), *Optimisation of hydrolysis conditions for yellowfin tuna (Thunnus albacares) heads using alcalase enzyme,* IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1155, p. 012019.
28. 28. Wardani, D.W., Ningrum, A., Manikharda, V.N., Munawaroh, H.S.H., Susanto, E., Show, P.L. (2023), *In silico and in vitro assessment of yellowfin tuna skin (Thunnus albacares) hydrolysate antioxidation effect.* Food Hydrocolloids for Health, 3.
29. 29. Abril, B., Bou, R., Garcia-Perez, J.V., Benedito, J. (2023), *Role of Enzymatic Reactions in Meat Processing and Use of Emerging Technologies for Process Intensification.* Foods, 12 (10).
30. 30. Nguyễn Trọng Bách và Nguyễn Thị Ngọc Ánh (2024), Ảnh hưởng của một số yếu tố đến trạng thái và tính chất lưu biến của gelatin tách chiết từ da cá tra (*Pangasius*) ở Việt Nam. Tạp chí Khoa học và công nghệ Việt Nam, 66 (12), p. 60-64
31. 31. Nguyen, T.B., Mueni, L.M., Bui, T.N.T.V., Huynh, N.D.B., Nguyen, T.T.K.C., Nicolai, T. (2022), *Characterization of tuna dark muscle protein isolate,* Journal of Food Processing and Preservation, 46 (8).
32. 32. Nurdiani, R., Firdaus, M., Prihanto, A.A., Jaziri, A.A., Jati, M.R., Abdurrahman, T.R., Ifilah, S., Debataraja, E.R., Huda, N. (2024), *Enzymatic Hydrolysis of Protein Hydrolysate from Pangasius sp, by-Product using Bromelain,* Current Research in Nutrition and Food Science Journal, 12 (1), p. 125-136.
33. 33. Yumni, D.E.Z. and Rosida, D.F. (2025), *Study of the Hydrolysis Process Using Bromelain Enzymes on the Characteristics of Hydrolyzed Protein from Jengki Anchovies (Stolephorus indicus),* AJARCDE (Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment), 9 (2), p. 175-178.