DOI: https://doi.org/10.62985/j.huit_ojs.vol26.no2.415

# ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC PHƯƠNG PHÁP XỬ LÝ ĐẾN TÍNH CHẤT CHỨC NĂNG CỦA PROTEIN TRONG BỘT ĐẬU VÁN (*Lablab purpureus* (L.) Sweet) NẢY MẦM

**Hoàng Thị Trúc Quỳnh, Lê Thị Hồng Ánh***

*Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh*

*Email: *anhlth@huit.edu.vn*

Ngày nhận bài: 05/01/2026; Ngày nhận bài sửa: 16/3/2026; Ngày chấp nhận đăng: 20/3/2026

## TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm đánh giá ảnh hưởng của các phương pháp xử lý khác nhau, bao gồm nảy mầm truyền thống, bổ sung γ-aminobutyric acid (GABA) ngoại sinh và xử lý siêu âm, đến tính chất chức năng của protein trong bột đậu ván (*Lablab purpureus* (L.) Sweet) nảy mầm. Các yếu tố được khảo sát bao gồm protein hòa tan, khả năng tạo bọt (FC), độ ổn định bọt (FS), khả năng giữ nước (WHC), giữ dầu (OHC), khả năng nhũ hóa (EC) và độ ổn định nhũ (ES). Kết quả cho thấy điều kiện nảy mầm thích hợp theo phương pháp truyền thống là 35 °C trong 36 - 48 giờ, tại đó protein hòa tan và các tính chất chức năng đạt được tốt nhất. Việc bổ sung GABA ngoại sinh ở nồng độ 10 - 15 mM giúp cải thiện đáng kể các đặc tính bề mặt và khả năng tương tác của protein. Ngoài ra, xử lý siêu âm ở điều kiện 3,6 W/g trong 10 phút mang lại hiệu quả tốt nhất trong các điều kiện khảo sát, với sự gia tăng về lượng protein hòa tan (30,98%), khả năng tạo bọt (310,76%), ổn định bọt (91,22%), cũng như khả năng nhũ hóa và giữ nước/dầu. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho việc ứng dụng protein đậu ván nảy mầm trong phát triển các sản phẩm thực phẩm từ nguồn gốc thực vật.

*Từ khóa:* Đậu ván, nảy mầm, GABA, siêu âm, protein, tính chất chức năng.

## 1. MỞ ĐẦU

Ngày nay khi xu hướng toàn cầu quan tâm đến các hệ thống thực phẩm xanh và bền vững, nguyên liệu giàu protein có nguồn gốc thực vật, đặc biệt các loài cây họ đậu, đang ngày càng trở thành giải pháp thay thế tiềm năng cho các loại protein động vật. Nguồn nguyên liệu xanh này không chỉ cung cấp lượng protein đáng kể mà còn góp phần giảm phát thải khí nhà kính và tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên thiên nhiên [1]. Nhờ những lợi ích kép về dinh dưỡng và môi trường, protein họ đậu đang được quan tâm trong phát triển thực phẩm thế hệ mới. Tuy nhiên, việc ứng dụng rộng rãi protein họ đậu trong lĩnh vực thực phẩm vẫn gặp nhiều thách thức. Một trong những hạn chế lớn nhất là khả năng tiêu hóa thấp do cấu trúc protein dự trữ phức tạp, cùng với sự hiện diện của các hợp chất phản hấp thu dinh dưỡng như phytate và các chất ức chế protease. Các hợp chất này có thể liên kết với protein hoặc enzyme tiêu hóa, làm giảm hiệu quả thủy phân và khả năng hấp thu acid amin, từ đó ảnh hưởng tiêu cực đến giá trị sinh học của protein [2, 3].

Trong số các phương pháp xử lý nhằm cải thiện chất lượng protein, nảy mầm được xem là một quá trình sinh học hiệu quả có khả năng gây ra những biến đổi đáng kể về cấu trúc và thành phần protein. Trong quá trình này, các enzyme nội sinh, đặc biệt là protease, được hoạt hóa và xúc tiến quá trình phân giải protein dự trữ thành các peptide và acid amin có khối lượng phân tử thấp [4]. Những biến đổi này góp phần làm tăng hàm lượng protein hòa tan, cải thiện khả năng tiếp cận xúc tác của enzyme đối với protein [5]. Đồng thời, quá trình nảy mầm cũng góp phần làm giảm hàm lượng các chất kháng dinh dưỡng thông qua hoạt động của enzyme phytase và sự bất hoạt các chất ức chế trypsin [6]. Ở cấp độ vi cấu trúc, sự phá vỡ ma trận dự trữ dinh dưỡng trong hạt giúp giải phóng protein khỏi các vùng bị bao bọc, qua đó giúp cải thiện tính chất chức năng của protein trong các nền thực phẩm đặc trưng [7].

Tiền xử lý nảy mầm bằng GABA ngoại sinh và hỗ trợ siêu âm góp phần làm thay đổi cấu trúc protein của hạt thông qua hai cơ chế bổ sung cho nhau. Khi bổ sung chất kích thích ngoại sinh, GABA có thể tương tác không cộng hóa trị trực tiếp với protein, chủ yếu thông qua liên kết hydro và lực Van

der Waals, từ đó gây biến đổi cấu trúc bậc hai và bậc ba của protein [8]. Mặt khác, ngoài khả năng tương tác trực tiếp với protein, GABA ngoại sinh còn có thể hoạt động như một phân tử điều hòa chuyển hóa và tín hiệu stress, góp phần điều chỉnh cân bằng carbon–nitơ, trạng thái oxy hóa khử và hoạt tính của các enzyme liên quan đến con đường GABA shunt, từ đó ảnh hưởng gián tiếp đến quá trình huy động và chuyển hóa protein trong hạt [9], [10]. Đối với kỹ thuật tiền xử lý siêu âm, cơ chế tác động lên cấu trúc protein chủ yếu liên quan đến hiện tượng acoustic cavitation. Sự hình thành, phát triển và phá vỡ của các bọt khí vi mô trong môi trường lỏng tạo ra vi dòng chảy, lực cắt cục bộ, sóng xung kích và các vùng áp suất – nhiệt độ cục bộ cao, đủ để làm suy yếu hoặc phá vỡ tương tác giữa các phân tử như liên kết hydro, tương tác kỵ nước và một phần tương tác tĩnh điện trong phân tử protein [11], [12].

Các tính chất chức năng của protein thường có vai trò quan trọng, quyết định khả năng ứng dụng của protein trong các hệ thực phẩm. Ngoài việc thay đổi hàm lượng protein hòa tan, các tính chất chức năng cũng được cải thiện như khả năng giữ nước (WHC), giữ dầu (OHC), khả năng tạo bọt, nhũ hóa và gel hóa [13]. Trong đó, hàm lượng protein hòa tan được xem là yếu tố nền tảng, ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng tương tác phân tử và hình thành cấu trúc mạng lưới protein [14]. Các đặc tính bề mặt như khả năng tạo bọt, khả năng nhũ hóa liên quan đến sự hấp phụ của protein tại bề mặt phân cách pha, trong khi khả năng giữ nước và giữ dầu góp phần duy trì cấu trúc và cảm quan của sản phẩm [13]. Ngoài ra, khả năng gel hóa cũng đóng vai trò thiết yếu trong việc hình thành cấu trúc ba chiều của các sản phẩm thực phẩm bán rắn và thực phẩm thay thế thịt [14].

*Lablab purpureus* (L.) Sweet (đậu ván) là một loài cây họ đậu nhiệt đới có tiềm năng lớn nhưng chưa được khai thác rộng rãi trong công nghiệp thực phẩm. Đặc điểm sinh học nổi bật của cây đậu ván trắng là khả năng thích nghi tốt với điều kiện khí hậu khắc nghiệt và chứa hàm lượng protein tương đối cao (khoảng 17–28% khối lượng khô). Tuy nhiên, tương tự các loài họ đậu khác, việc sử dụng đậu ván còn bị hạn chế bởi sự hiện diện của các hợp chất kháng dinh dưỡng như phytate, tannin và chất ức chế trypsin, làm giảm khả năng tiêu hóa protein [15, 16]. Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng quá trình nảy mầm có thể làm giảm đáng kể các hợp chất này và cải thiện giá trị dinh dưỡng của protein [17]. Mặc dù ảnh hưởng của quá trình nảy mầm đến protein họ đậu đã được nghiên cứu rộng rãi, các nghiên cứu tập trung vào sự biến đổi tính chất chức năng của protein trong bột đậu ván nảy mầm vẫn còn hạn chế, đặc biệt trong điều kiện áp dụng các phương pháp xử lý kết hợp như bổ sung γ-aminobutyric acid (GABA) ngoại sinh hoặc xử lý siêu âm. Việc thiếu cơ sở khoa học thực nghiệm mang tính hệ thống về các tính chất chức năng của protein đậu ván nảy mầm làm hạn chế việc ứng dụng chúng vào trong các sản phẩm chức năng. Do đó, cần làm rõ ảnh hưởng của các phương pháp xử lý đến tính chất chức năng của protein đậu ván nảy mầm nhằm xác định điều kiện tối ưu, qua đó nâng cao hiệu quả khai thác nguyên liệu trong phát triển các sản phẩm thực phẩm nguồn gốc thực vật có giá trị và tính ứng dụng cao.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Vật liệu

Hạt đậu ván trắng *Lablab purpureus* (L.) Sweet được thu mua từ trang trại canh tác theo chuẩn VietGAP ở xã Cư M'gar, tỉnh Đắk Lắk, Việt Nam. Nguyên liệu sau khi mua về được loại bỏ các hạt lép, hư hỏng, vỡ và các tạp chất khác, sấy đối lưu ở 40 °C đến độ ẩm < 10%. Sau đó, đậu ván sạch, khô sẽ được cho vào túi PE hút chân không và bảo quản ở nơi thoáng mát tại nhiệt độ phòng để tránh biến chất, hư hỏng trước khi sử dụng.

Hóa chất sử dụng trong nghiên cứu gồm Folin–Ciocalteu, BSA, SDS, $Na_2CO_3$, NaClO, methyl đỏ, bromocresol xanh, NaOH, HCl chuẩn… cùng các hóa chất phân tích khác. Các hóa chất được sử dụng đều đạt chuẩn phân tích.

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

*2.2.1. Nảy mầm đậu ván và chuẩn bị bột đậu nảy mầm*

- Phương pháp truyền thống:

Hạt đậu được sát khuẩn bằng dung dịch natri hypochlorite 0,05% (v/v) trong 15 phút, sau đó rửa sạch nhiều lần bằng nước cất. Hạt được tiếp tục ngâm trong nước ở 35 °C trong 8 giờ và thay nước ngâm sau mỗi 2 giờ, để ráo và trải đều trên các khay nhựa đục lỗ với mật độ 5-6 g/cm². Quá trình ủ nảy mầm được thực hiện ở 25, 30, 35 và 40 °C trong các khoảng thời gian 12, 24, 36, 48 và 60 giờ. Sau ủ, các hạt có rễ mầm nhú ra khỏi vỏ hạt với chiều dài từ 5 mm trở lên được chọn, bóc vỏ và sấy đối lưu ở

45 °C cho đến khi độ ẩm <12%. Cuối cùng, mẫu được nghiền bằng máy nghiền cơ học và rây qua lưới inox 80 mesh để thu bột mịn đồng nhất. Mẫu bột được định lượng và bảo quản trong túi PE hàn kín ở nhiệt độ < 0 °C cho đến khi sử dụng để phân tích protein hòa tan, khả năng tạo bọt, độ bền bọt, khả năng giữ nước, khả năng giữ dầu, khả năng tạo nhũ và độ bền nhũ.

- Phương pháp có bổ sung GABA ngoại sinh

Hạt đậu ván được khử trùng bề mặt bằng dung dịch natri hypochlorite 0,05 % (v/v) trong 15 phút, sau đó rửa sạch bằng nước cất nhiều lần. Hạt sau xử lý được ngâm ở 35 °C trong 8 giờ bằng nước cất có bổ sung thêm GABA với nồng độ lần lượt 5, 10, 15 và 20 mM, dịch ngâm được thay mới sau mỗi 2 giờ; mẫu đối chứng được ngâm trong nước cất. Kết thúc quá trình ngâm, hạt được để ráo và phân bố trên khay nhựa đục lỗ với mật độ 5 - 6 g/cm², rồi ủ ở 25, 30, 35 và 40 °C trong 12, 24, 36, 48 và 60 giờ. Sau khi ủ, các hạt có rễ mầm dài từ 5 mm trở lên được chọn, bóc vỏ và sấy đối lưu ở 45 °C cho đến khi độ ẩm < 12%. Hạt đậu ván nảy mầm sau đó được xử lý tương tự các thí nghiệm trước để tạo bột mịn, bảo quản để chuẩn bị cho các phân tích hàm mục tiêu của thí nghiệm.

- Phương pháp có xử lý siêu âm

Hạt đậu ván được sát khuẩn bằng dung dịch natri hypochlorite 0,05% (v/v) trong 15 phút, sau đó rửa sạch nhiều lần bằng nước cất. Mẫu được ngâm trong nước cất ở 35 °C trong 8 giờ và đồng thời xử lý bằng sóng siêu âm ở các mức công suất riêng 1,2; 2,4; 3,6 và 4,8 W/g với thời gian xử lý tương ứng 5, 10, 15 và 20 phút. Mẫu đối chứng không xử lý siêu âm. Sau ngâm, hạt được để ráo, trải đều trên các khay nhựa đục lỗ với mật độ 6 g/cm² và ủ ở 25, 30, 35 hoặc 40 °C trong 12, 24, 36, 48 và 60 giờ. Sau quá trình ủ, các hạt có rễ mầm nhú ra khỏi vỏ hạt với chiều dài từ 5 mm trở lên được lựa chọn, bóc vỏ và sấy đối lưu ở 45 °C cho đến khi độ ẩm < 12%. Hạt đậu ván nảy mầm sau đó được xử lý tương tự các thí nghiệm trước để tạo bột mịn, bảo quản để chuẩn bị cho các phân tích hàm mục tiêu của thí nghiệm.

*2.2.2. Xác định độ hòa tan của protein trong bột đậu ván nảy mầm*

Độ hòa tan của protein trong bột đậu ván nảy mầm được xác định theo phương pháp phân tán–ly tâm tương tự mô tả của Morr và cộng sự với một số điều chỉnh [18]. Mẫu bột đậu sau khi đã khử béo bằng n-hexan được phân tán ở nồng độ 1,0% (w/v) trong dung dịch NaCl 0,1 M. pH của huyền phù được điều chỉnh đến 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 và 10,0 bằng HCl. Mẫu được khuấy ở 25 ± 2 °C trong 60 phút, để ổn định 30 phút, sau đó ly tâm ở 5000 rpm trong 15 phút. Protein trong dịch nổi được xác định bằng phương pháp Lowry sử dụng BSA làm chất chuẩn. Độ hòa tan của protein được tính bằng tỷ lệ phần trăm protein hòa tan trong dịch nổi so với tổng lượng protein ban đầu của mẫu. Mỗi phép thử được thực hiện với ba lần lặp và kết quả được biểu diễn dưới dạng trung bình ± độ lệch chuẩn.

$$\text{Độ } hòa\ tan\ (\%) = \frac{Cs \times V}{m \times Pt} \times 100\%$$

Trong đó:

Cs: Hàm lượng protein hòa tan trong dịch nổi (mg/mL);

V: Thể tích dịch nổi (mL);

M: Khối lượng mẫu sử dụng (mg);

Pt: Hàm lượng protein tổng của mẫu (mg protein/g mẫu).

*2.2.3. Xác định khả năng tạo bọt và ổn định hệ bọt*

Khả năng tạo bọt (FC) và độ ổn định bọt (FS) được xác định theo mô tả của Ivanova và cộng sự [19]. 50 mL dịch mẫu được đánh cơ học trong thời gian cố định để tạo bọt, sau đó chuyển nhanh và nhẹ vào ống đong 250 mL. Tổng thời gian từ khi bắt đầu chuyển bọt đến khi ghi thể tích không vượt quá 2 phút. Ghi thể tích dịch trước khi đánh ($V_0$) và thể tích bọt ngay sau khi đánh ($V_1$). Sau đó để yên ở nhiệt độ phòng trong 30 phút và ghi thể tích bọt còn lại ($V_2$).

Khả năng tạo bọt được tính theo công thức FC (%)=$[(V_1-V_0)/V_0]\times100$

Độ ổn định bọt được tính theo công thức FS (%)=$(V_2/V_1)\times100$

*2.2.4. Xác định khả năng giữ nước (WHC), giữ dầu (OHC) của protein bột đậu ván nảy mầm*

Khả năng giữ nước (WHC) của mẫu được xác định theo phương pháp hydrat hóa–ly tâm [19]. Cân 1,00 g mẫu vào ống ly tâm, bổ sung 10,0 mL nước cất, vortex trong 2 phút và để hydrat hóa ở nhiệt

độ phòng trong 30 phút. Sau đó, mẫu được ly tâm ở 3000 rpm trong 20 phút. Phần dịch nổi được gạn bỏ, ống được đặt úp trong 2 phút để loại bỏ nước tự do, rồi cân phần cặn còn lại. WHC được tính theo số gam nước giữ lại trên mỗi gam mẫu khô. Mỗi nghiệm thức được thực hiện ít nhất ba lần lặp và kết quả được biểu diễn dưới dạng trung bình ± độ lệch chuẩn.

Khả năng giữ dầu (OHC) của mẫu được xác định theo phương pháp hấp phụ dầu–ly tâm. Cân 1,00 g mẫu vào ống ly tâm, bổ sung 10,0 mL dầu thực vật tinh luyện, vortex trong 2 phút và để cân bằng ở nhiệt độ phòng trong 30 phút. Sau đó, mẫu được ly tâm ở 3000 rpm trong 20 phút. Phần dầu tự do được gạn bỏ, ống được đặt úp trong 1–2 phút, rồi cân lại phần cặn còn lại. OHC được tính theo số gam dầu giữ lại trên mỗi gam mẫu theo công thức: $OHC = (W_2 - W_1)/W_0$

Trong đó $W_0$ là khối lượng mẫu ban đầu, $W_1$ là khối lượng ống ly tâm, và $W_2$ là khối lượng ống và cặn sau ly tâm. Mỗi nghiệm thức được thực hiện ít nhất ba lần lặp và kết quả được biểu diễn dưới dạng trung bình ± độ lệch chuẩn.

*2.2.5. Xác định khả năng ổn định hệ nhũ tương*

Khả năng ổn định hệ nhũ tương được xác định theo phương pháp của Yasumatsu và cộng sự với một số điều chỉnh [20]. Cân 1,00 g mẫu vào ống ly tâm có chia vạch, thêm 10,0 mL nước cất và để hydrat hóa trong 30 phút ở nhiệt độ phòng. Sau đó bổ sung 10,0 mL dầu đậu nành và đồng hóa trong 1 phút để tạo nhũ tương. Nhũ tương được ly tâm ở 2000 rpm trong 5 phút để xác định hoạt tính nhũ hóa ban đầu. Tiếp đó, nhũ tương được gia nhiệt ở 80 °C trong 30 phút, làm nguội trong 15 phút và ly tâm ở 3000 rpm trong 15 phút. Khả năng ổn định hệ nhũ tương được tính bằng tỷ lệ phần trăm chiều cao lớp nhũ còn lại sau xử lý so với tổng chiều cao hỗn hợp.

$$\mathrm{ES}(\%) = \frac{Hes}{Ht} \times 100$$

**2.3. Phương pháp xử lý số liệu**

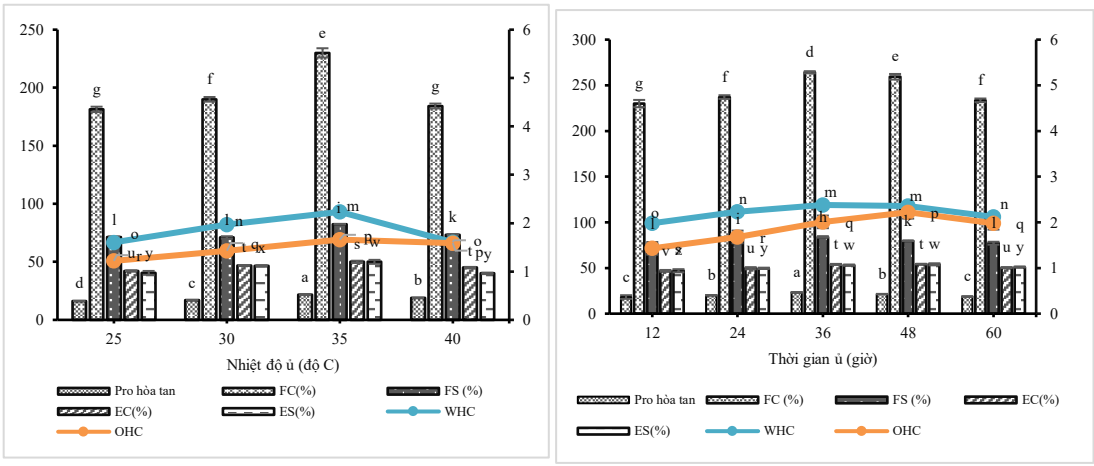
Các thí nghiệm được lặp lại 3 lần, kết quả được xử lý với phần mềm Microsoft Excel 2019, được trình bày dưới dạng giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn. Sự khác biệt thống kê giữa các nghiệm thức được đánh giá bằng phân tích phương sai một chiều (ANOVA) của phần mềm SPSS. Các đồ thị được vẽ bởi Excel 2019.

## 3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

**3.1. Tính chất chức năng của protein đậu ván nảy mầm bằng phương pháp truyền thống**

Các tính chất chức năng của protein đậu ván nảy mầm dưới ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian ủ được thể hiện trong Hình 1. Kết quả cho thấy các thông số như độ hòa tan, khả năng tạo bọt, nhũ hóa và giữ nước/dầu đều có sự biến đổi rõ rệt theo điều kiện xử lý. Xu hướng thay đổi này phản ánh tác động của quá trình nảy mầm đến cấu trúc và đặc tính chức năng của protein.

Kết quả Hình 1a cho thấy nhiệt độ ủ có ảnh hưởng đáng kể đến tính chất chức năng của protein đậu ván nảy mầm. Khi nhiệt độ tăng từ 25 °C lên 35 °C, hàm lượng protein hòa tan tăng rõ rệt từ 16,23% lên 21,82%, sau đó giảm xuống 18,95% ở 40 °C. Xu hướng này cho thấy nhiệt độ 35 °C là điều kiện tốt nhất để thúc đẩy quá trình thủy phân protein dự trữ thông qua hoạt động của enzyme nội sinh, đặc biệt là protease. Sự gia tăng protein hòa tan có thể được giải thích bởi sự phân cắt protein thành các peptide có khối lượng phân tử thấp hơn có khả năng hòa tan [4]. Tương tự, các tính chất bề mặt như khả năng tạo bọt (FC) và độ ổn định bọt (FS) đạt giá trị cao nhất tại 35 °C (230% và 82,42%), phản ánh sự cải thiện khả năng hấp phụ của protein tại bề mặt phân cách khí - lỏng. Điều này có thể liên quan đến sự mở cuộn cấu trúc protein, làm lộ ra các nhóm kỵ nước và ưa nước, từ đó tăng cường khả năng tạo màng liên kết tại bề mặt [21]. Khả năng giữ nước (WHC) và giữ dầu (OHC) cũng tăng theo nhiệt độ và đạt cực đại tại 35 °C (2,23 và 1,66), cho thấy sự cải thiện trong khả năng liên kết với nước và lipid. Điều này có thể do sự phá vỡ cấu trúc bậc cao của protein, làm tăng số lượng vị trí liên kết với phân tử nước và dầu. Tuy nhiên, khi nhiệt độ tăng lên 40 °C, các giá trị này giảm, có thể do hiện tượng biến tính protein quá mức dẫn đến kết tụ và giảm khả năng tương tác với môi trường [7, 13]. Khả năng nhũ hóa (EC) và độ ổn định nhũ (ES) cũng cho xu hướng tương tự, đạt giá trị cao nhất tại 35 °C (50% và 50,01%) cũng có thể do đạt được sự cân bằng tối ưu giữa tính kỵ nước và ưa nước, giúp tăng khả năng ổn định hệ nhũ tương [22, 23].




a) b)

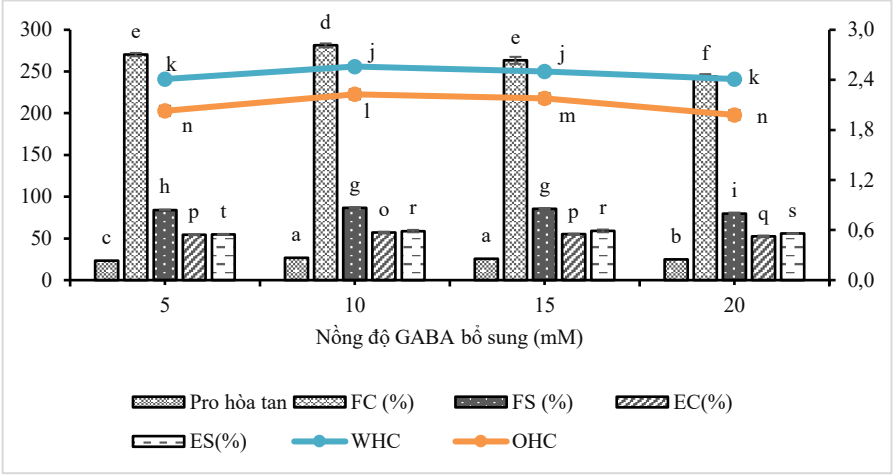
*Hình 1.* Ảnh hưởng của nhiệt độ ủ (a), thời gian ủ (b) đến tính chất chức năng của bột đậu ván nảy mầm giàu protein *(Trong cùng một yếu tố khảo sát, các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức p < 0,05)*

Kết quả ở Hình 1b cho thấy thời gian ủ có ảnh hưởng rõ rệt đến các tính chất chức năng của protein đậu ván nảy mầm. Hàm lượng protein hòa tan tăng dần từ 18,21% (12 giờ) lên cực đại 23,29% (36 giờ), sau đó giảm ở mốc 60 giờ ủ. Điều này có thể do quá trình thủy phân protein tạo thành các peptide hòa tan diễn ra mạnh trong giai đoạn đầu, nhưng khi kéo dài thời gian ủ, các peptide có thể tiếp tục bị phân giải hoặc tái kết hợp thành các cấu trúc ít hòa tan hơn [24]. Khả năng tạo bọt (FC) và độ ổn định bọt (FS) cũng tăng theo thời gian ủ và đạt giá trị cao nhất tại 36 giờ (264,25% và 83,98%). Điều này cho thấy quá trình nảy mầm giúp cải thiện đáng kể tính chất bề mặt của protein, phù hợp với quan điểm cho rằng các peptide có kích thước trung bình có khả năng tạo bọt tốt hơn so với protein có khối lượng phân tử lớn. Các giá trị WHC và OHC tăng dần và đạt cực đại tại 48 giờ (2,36 và 2,22), sau đó giảm nhẹ ở mốc 60 giờ ủ. Hiện tượng này có thể liên quan đến việc hình thành các cấu trúc protein linh hoạt hơn, tạo điều kiện thuận lợi cho việc giữ nước và dầu. Tuy nhiên, khi thời gian ủ dài hơn, sự phân giải quá mức có thể làm giảm khả năng giữ nước do mất cấu trúc mạng lưới. Khả năng nhũ hóa (EC) và độ ổn định nhũ (ES) cũng đạt giá trị cao nhất tại 48 giờ (54,22% và 54,01%) và giảm sau 60 giờ ủ, điều này có thể do protein bị phân giải quá mức làm giảm khả năng hình thành lớp màng bền vững tại bề mặt phân cách [25].

Nhìn chung, nhiệt độ và thời gian ủ đều có ảnh hưởng đáng kể đến tính chất chức năng của protein đậu ván nảy mầm. Điều kiện thích hợp được xác định là khoảng 35 °C và 36 - 48 giờ, tại đó protein thể hiện sự cải thiện rõ rệt về độ hòa tan, khả năng tạo bọt, nhũ hóa và giữ nước/dầu. Những kết quả này cho thấy quá trình nảy mầm có thể được xem là một phương pháp tiền xử lý hiệu quả nhằm nâng cao giá trị chức năng của protein đậu ván, mở ra tiềm năng ứng dụng trong các sản phẩm thực phẩm có nguồn gốc thực vật như đồ uống, thực phẩm nhũ tương và sản phẩm thay thế thịt.

### 3.2. Tính chất chức năng của protein đậu ván nảy mầm bằng phương pháp có bổ sung GABA ngoại sinh

Kết quả ảnh hưởng của hàm lượng GABA ngoại sinh đến tính chất chức năng của bột protein đậu ván nảy mầm được thể hiện ở Hình 2.

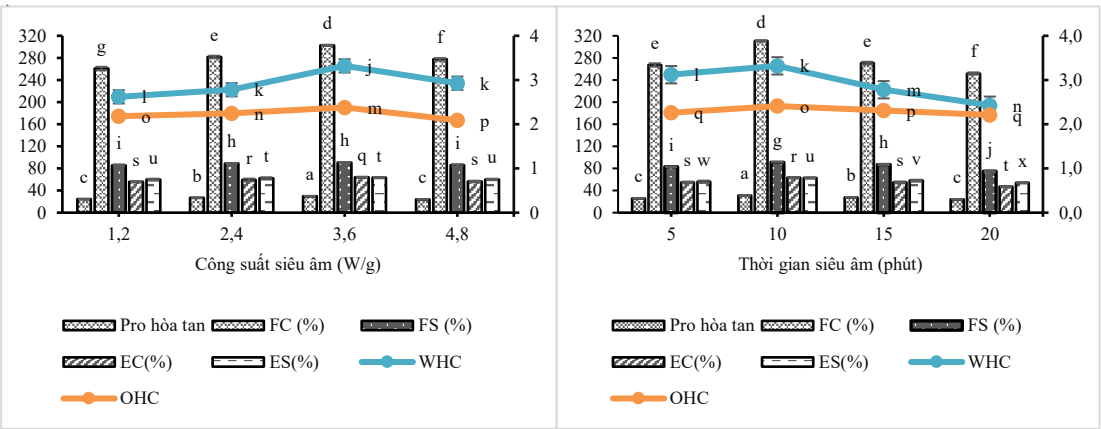



*Hình 2.* Ảnh hưởng của GABA ngoại sinh đến tính chất chức năng của bột đậu ván nảy mầm giàu protein *(Trong cùng một yếu tố khảo sát, các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức p < 0,05)*

Kết quả Hình 2 cho thấy nồng độ GABA có ảnh hưởng rõ rệt đến hàm lượng protein hòa tan và các tính chất chức năng của protein đậu ván nảy mầm. Cụ thể, protein hòa tan tăng từ 23,45% (5 mM) lên giá trị cao nhất 26,77% (10 mM), sau đó giảm dần khi nồng độ tăng lên 15 - 20 mM. Xu hướng này cho thấy việc bổ sung GABA ở mức độ thích hợp có thể thúc đẩy sự biến đổi cấu trúc protein theo hướng tăng khả năng hòa tan, có thể liên quan đến sự tăng cường hoạt động enzyme nội sinh trong quá trình nảy mầm và sự hình thành các peptide có khối lượng phân tử thấp hơn [26]. Tuy nhiên, ở nồng độ cao hơn, sự tương tác giữa các phân tử protein có thể dẫn đến hiện tượng kết tụ, làm giảm độ hòa tan. Các tính chất bề mặt như khả năng tạo bọt (FC) và độ ổn định bọt (FS) đạt giá trị cao nhất tại 10 mM (281,33% và 86,77%), sau đó giảm ở nồng độ cao hơn. Điều này cho thấy GABA có thể làm thay đổi cấu hình không gian của protein, làm lộ ra các nhóm kỵ nước, từ đó cải thiện khả năng hấp phụ tại bề mặt khí - lỏng. Kết quả này phù hợp với nhận định rằng sự biến đổi cấu trúc protein trong quá trình nảy mầm có thể làm tăng tính linh hoạt phân tử và cải thiện tính chất bề mặt [27]. Khả năng giữ nước (WHC) và giữ dầu (OHC) tăng và đạt giá trị tối đa tại 10 mM (2,56 và 2,23), cho thấy sự gia tăng các vị trí liên kết với nước và lipid. Điều này có thể liên quan đến sự mở cuộn cấu trúc protein và tăng diện tích bề mặt tương tác, từ đó cải thiện khả năng giữ nước và dầu [28]. Tuy nhiên, khi nồng độ GABA tăng lên 20 mM, các giá trị này giảm, có thể do sự kết tụ protein làm giảm khả năng tương tác với pha nước và dầu. Đối với khả năng nhũ hóa (EC) và độ ổn định nhũ (ES), các giá trị cao nhất được ghi nhận trong khoảng 10 - 15 mM (EC đạt 56,98% tại 10 mM; ES đạt 59,02% tại 15 mM). Điều này cho thấy ở nồng độ trung bình, protein đạt được sự cân bằng tối ưu giữa tính ưa nước và kỵ nước, giúp tăng khả năng hấp phụ và ổn định tại bề mặt phân cách dầu - nước [29]. Ngược lại, ở nồng độ cao hơn, sự suy giảm các giá trị này cho thấy sự phá vỡ cấu trúc tối ưu của protein, dẫn đến giảm hiệu quả nhũ hóa. Kết quả này tương tự với nhận định của Cui và cộng sự khi ghi nhận sự gắn kết giữa GABA và protein đậu nành là quá trình tự phát, làm thay đổi đáng kể cấu trúc thứ cấp và cấu trúc không gian bậc ba của protein [8]. Tương tự, Xing và cộng sự cũng cho thấy việc bổ sung GABA làm tăng tỷ lệ dạng chuỗi xoắn đều α-helix và giảm đoạn chuỗi ngắn tại vị trí mạch polypeptide đổi hướng gấp khúc (dạng β-turn) cũng như phần chuỗi protein không có sắp xếp bậc hai đều đặn (dạng random coil) của protein đậu nành, cho thấy GABA có thể thúc đẩy sự tái sắp xếp cấu dạng protein theo hướng trật tự hơn [30]. Trong nghiên cứu này, nồng độ GABA ngoại sinh bổ sung được lựa chọn là 10 mM và sử dụng cho các nghiên cứu tiếp theo.

### 3.3. Tính chất chức năng của protein đậu ván nảy mầm bằng phương pháp có xử lý siêu âm

Kết quả ở Hình 3 cho thấy việc xử lý siêu âm trước quá trình ủ có ảnh hưởng đáng kể đến các tính chất chức năng của protein đậu ván nảy mầm, phụ thuộc vào cả công suất và thời gian xử lý. Trong thí nghiệm này, đậu ván sau ngâm và xử lý siêu âm được ủ ở 35 $^{o}$C trong 36 giờ để thu được hạt nảy mầm thành phẩm.




*Hình 3.* Ảnh hưởng của công suất siêu âm (a), thời gian siêu âm (b) đến tính chất chức năng của bột đậu ván nảy mầm giàu protein *(Trong cùng một yếu tố khảo sát, các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức p < 0,05)*

Khi công suất siêu âm tăng từ 1,2 lên 3,6 W/g, protein hòa tan tăng đáng kể (từ 24,65 lên 29,71%), đồng thời các tính chất chức năng khác cũng đạt tốt nhất ở 3,6 W/g như FC (302,67%), FS (90,76%), WHC (3,32), OHC (2,38), EC (63,99%) và ES (63,22%) (Hình 3a). Điều này có thể được giải thích bởi hiện tượng cavitation, trong đó sự hình thành và sụp đổ của các bọt khí vi mô tạo ra lực cắt cục bộ và vi dòng chảy, làm suy yếu hoặc phá vỡ các liên kết như liên kết hydro, tương tác kỵ nước, tương tác tĩnh điện và lực Van der Waals trong cấu trúc protein [31, 32]. Hệ quả là cấu trúc bậc cao của protein bị mở cuộn một phần, làm lộ các nhóm phân cực và không phân cực, từ đó làm tăng khả năng tương tác với nước, dầu và pha khí [33, 34]. Đồng thời, sự giảm kích thước hạt và tăng diện tích bề mặt riêng cũng góp phần cải thiện khả năng nhũ hóa và tạo bọt của protein [34]. Tuy nhiên, khi công suất tăng lên 4,8 W/g, protein hòa tan, FC tương ứng giảm còn 24,22% và 277,34%. Hiện tượng này có thể liên quan đến biến tính quá mức và tái kết tụ protein do tương tác kỵ nước tăng mạnh sau khi các nhóm chức bị lộ ra. Sự tập hợp làm cho kích thước protein lớn hơn nên giảm khả năng hòa tan và hoạt tính bề mặt [35]. Thời gian xử lý siêu âm tăng từ 5 lên 10 phút, protein hòa tan tăng từ 25,87% lên 30,98%, đồng thời FC, FS, WHC, OHC, EC và ES đều đạt giá trị cao nhất tại 10 phút (FC: 310,76%; FS: 91,22%) (Hình 3b). Điều này chứng tỏ thời gian xử lý thích hợp cho phép protein đạt trạng thái biến đổi cấu trúc tối ưu, với sự cân bằng giữa mở cuộn và ổn định cấu trúc. Sự cải thiện này liên quan đến việc tăng tính linh động phân tử và khả năng hấp phụ nhanh tại bề mặt phân pha, giúp hình thành lớp màng protein bền vững bao quanh bọt khí hoặc giọt dầu [34]. Ngược lại, khi kéo dài thời gian siêu âm đến 15 và 20 phút, các tính chất chức năng suy giảm đáng kể, đặc biệt ở 20 phút (FS giảm còn 74,87%; EC giảm còn 46,98%). Điều này có thể do sự biến tính không thuận nghịch và tái kết tụ protein, làm giảm tính linh hoạt cấu trúc và khả năng tái sắp xếp tại bề mặt pha phân tán [35]. Trong nghiên cứu này điều kiện xử lý siêu âm được lựa chọn (3,6 W/g; 10 phút) cho thấy protein đạt mức biến đổi cấu trúc phù hợp nhất, làm tăng độ hòa tan và hoạt tính bề mặt. Xu hướng này phù hợp với các nghiên cứu trước của Akhtar và cộng sự khi làm giàu hệ nhũ tương chứa dầu hạt óc chó bằng kỹ thuật siêu âm, khẳng định vai trò của xử lý siêu âm như một phương pháp hiệu quả để cải thiện tính chất chức năng của protein thực vật trong quá trình nảy mầm [34, 35].

## 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu cho thấy các phương pháp nảy mầm khác nhau có ảnh hưởng đáng kể đến tính chất chức năng của protein bột đậu ván nảy mầm. Điều kiện tốt nhất ở phương pháp nảy mầm truyền thống là 35 °C trong 36 - 48 giờ, trong khi bổ sung GABA ở mức 10 - 15 mM giúp cải thiện các tính chất bề mặt và nhũ hóa. Phương pháp xử lý siêu âm cho hiệu quả tốt nhất tại 3,6 W/g trong 10 phút, làm tăng rõ rệt lượng protein hòa tan, khả năng tạo bọt, nhũ hóa và giữ nước/dầu nhờ biến đổi cấu trúc protein theo hướng thuận lợi. Kết quả này mở ra tiềm năng ứng dụng của bột đậu ván nảy mầm trong các hệ thực phẩm có nguồn gốc thực vật như đồ uống protein, thực phẩm nhũ tương và sản phẩm thay thế thịt. Các nghiên cứu tiếp theo nên tập trung vào đánh giá cảm quan, khả năng tiêu hóa *in vitro/in vivo* và khả năng ứng dụng thực tế trong sản phẩm thực phẩm.

**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 102/HĐ-DCT ngày 15 tháng 8 năm 2023.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] M. Gil *et al.*, "Sustainability of Alternatives to Animal Protein Sources, a Comprehensive Review," *Sustainability,* vol. 16, no. 17, pp. 7701, 2024, doi: https://doi.org/10.3390/su16177701

[2] N. Vikram, S. K. Katiyar, C. B. Singh, R. Husain, and L. K. Gangwar, "A Review on Anti-Nutritional Factors," *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences,* vol. 9, no. 5, pp. 1128-1137, 2020, doi: https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.905.123

[3] S. A. Misquitta, D. N. Kshirsagar, P. R. Dange, V. G. Choudhari, and M. M. Kabra, "Digestibility of Proteins in Legumes," in *Production and Utilization of Legumes - Progress and Prospects*: IntechOpen, 2023, doi: https://doi.org/10.5772/intechopen.110372

[4] M. A. Farooq, W. Ma, S. Shen, and A. Gu, "Underlying Biochemical and Molecular Mechanisms for Seed Germination," *Int J Mol Sci,* vol. 23, no. 15, pp. 8502, 2022, doi: https://doi.org/10.3390/ijms23158502

[5] I. Bera, M. O'Sullivan, D. Flynn, and D. C. Shields, "Relationship between Protein Digestibility and the Proteolysis of Legume Proteins during Seed Germination," *Molecules,* vol. 28, no. 7, pp. 3204, 2023, doi: https://doi.org/10.3390/molecules28073204

[6] D. I. Anaemene and G. T. Fadupin, "Effect of fermentation, germination and combined germination-fermentation processing methods on the nutrient and anti-nutrient contents of Quality Protein Maize (QPM) seeds," *Journal of Applied Sciences and Environmental Management,* vol. 24, no. 9, pp. 1625-1630, 2020, doi: https://doi.org/10.4314/jasem.v24i9.21

[7] D. Atudorei, S. G. Stroe, and G. G. Codina, "Impact of germination on the microstructural and physicochemical properties of different legume types," *Plants,* vol. 10, no. 3, p. 592, 2021, doi: https://doi.org/10.3390/plants10030592

[8] Y. Cui, N. Ma, X. Yan, *et al.*, "Insight into the interaction mechanism of γ-aminobutyric acid with soybean protein isolate by in vitro, multi-spectral and in silico analyses," *LWT - Food Science and Technology*, vol. 227, Art. no. 117996, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117996

[9] S. Zarbakhsh, A. Saleem, *et al.,* "Interplay between γ-aminobutyric acid metabolism and other crucial amino acid pathways in modulating plant growth and stress conditions," *Plant Stress*, vol. 16, 2025. https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.100883

[10] J. Wang, S. Sun, *et al*., "Gamma-aminobutyric acid: A novel biomolecule to improve plant resistance and fruit quality," *Plants,* vol. 14, no. 14, p. 2162, 2025. https://doi.org/10.3390/plants14142162

[11] V. Saran, R. Pavithra, Vinay Koli, *et al*., "Ultrasound modification of techno-functional, structural and physicochemical properties of legume proteins: A review," *Food Bioscience,* Vol. 60, 2024. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104456

[12] H. B. Jadhav, M. Das, A. Das, *et al.*, "Enhancing the functionality of plant-based proteins with the application of ultrasound–A review," *Measurement: Food*, vol. 13, Art. no. 100139, 2024. https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2024.100139

[13] M. Tan, M. A. Nawaz, and R. Buckow, "Functional and food application of plant proteins – a review," *Food Reviews International,* vol. 39, no. 5, pp. 2428-2456, 2021. https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1955918

[14] Joseph F. Zayas, *Functionality of proteins in food*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-59116-7

[15] M. Aleme, "Potentials Distribution and Origin of Lablab [*Lablab purpureus* (L.) Sweet]: A Review," *Agricultural Reviews,* vol. 43, no. 3, 2022. doi: https://doi.org/10.18805/ag.RF-226

[16] K. O. Soetan, "Biochemical, nutritional and toxicological studies on three varieties of *Lablab purpureus* (L.) sweet seeds," 2011.

`

[17] D. Atudorei, S.-G. Stroe, and G. G. Codină, "Physical, physiological and minerals changes of different legumes types during the germination process," *Ukrainian Food Journal,* vol. 9, no. 4, pp. 844-863, 2020. doi: https://doi.org/10.24263/2304-974X-2020-9-4-10

[18] C. V. Morr, B. German, J. E. Kinsella, J. M. Regenstein, J. P. van Buren, A. Kilara, B. A. Lewis, and M. E. Mangino, "A collaborative study to develop a standardized food protein solubility procedure," *Journal of Food Science*, vol. 50, no. 6, pp. 1715–1718, 1985. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb10572.x

[19] P. Ivanova, V. Chalova, and L. Koleva, "Functional properties of proteins isolated from industrially produced sunflower meal," *International Journal of Food Studies*, vol. 3, pp. 203-212, 2014. doi: https://doi.org/10.7455/ijfs/3.2.2014.a6

[20] K. Yasumatsu , K. Sawada , S. Moritaka , M. Misaki , J. Toda , T. Wada, K. Ishii, "Whipping and emulsifying properties of soybean products", *Agri Biol Chem*. vol. 36, pp.719–727, 1972. doi: https://doi.org/10.1271/bbb1961.36.719

[21] Dinara D. Tortayeva, Ronny Horax, Satchi Eswaranandam, Alok Jha, Navam Hettiarachchy, "Effects of germination on nutrient composition of long grain rice and its protein physico-chemical and functional properties," *Journal of Food and Nutrition,* vol. 1, pp. 1-9, 2014. https://www.jscholaronline.org/full-text/JFN/201/Effects-of-Germination-on-Nutrient-Composition-of-Long-Grain-Rice.php

[22] Q. Fu *et al.*, "Research Advances in Plant Protein-Based Products: Protein Sources, Processing Technology, and Food Applications," *J Agric Food Chem,* vol. 71, no. 42, pp. 15429-15444, 2023. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c02224

[23] F. U. Akharume, R. E. Aluko, and A. A. Adedeji, "Modification of plant proteins for improved functionality: A review," *Compr Rev Food Sci Food Saf,* vol. 20, no. 1, pp. 198-224, 2021. DOI:10.1111/1541-4337.12688

[24] V. Uppal and K. Bains, "Effect of germination periods and hydrothermal treatments on in vitro protein and starch digestibility of germinated legumes," *J Food Sci Technol,* vol. 49, no. 2, pp. 184-91, 2012. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0273-8

[25] A. K. Rashwan, A. I. Osman, A. M. Abdelshafy, J. Mo, and W. Chen, "Plant-based proteins: advanced extraction technologies, interactions, physicochemical and functional properties, food and related applications, and health benefits," *Crit Rev Food Sci Nutr,* vol. 65, no. 4, pp. 667-694, 2023. https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2279696

[26] X. H. Wang, Z. J. Tai, X. J. Song, Z. J. Li, and D. J. Zhang, "Effects of germination on the structure, functional properties, and in vitro digestibility of a black bean (*Glycine max* (L.) Merr.) protein isolate," *Foods,* vol. 13, no. 3, pp. 488, 2024. https://doi.org/10.3390/foods13030488

[27] E. A. Foegeding and J. P. Davis, "Food protein functionality: A comprehensive approach," *Food Hydrocolloids,* vol. 25, no. 8, pp. 1853-1864, 2011. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.05.008

[28] A. K. Stone, A. Karalash, R. T. Tyler, T. D. Warkentin, and M. T. Nickerson, "Functional attributes of pea protein isolates prepared using different extraction methods and cultivars," *Food Research International,* vol. 76, pp. 31-38, 2015. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.017

[29] A. C. Y. Lam, A. Can Karaca, R. T. Tyler, and M. T. Nickerson, "Pea protein isolates: Structure, extraction, and functionality," *Food Reviews International,* vol. 34, no. 2, pp. 126-147, 2016. https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1242135

[30] Z. Xing, J. Zhang, F. Lou, *et al.*, "Reduction of soybean globulin antigen by soybean protein isolate/γ-aminobutyric acid complexes: Effect of the different concentrations of γ-aminobutyric acid on the protein modification, antigen levels, and foaming properties," *Food Hydrocolloids*, vol. 160, 110729, 2025. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110729

[31] S. M. T. Gharibzahedi and B. Smith, "The functional modification of legume proteins by ultrasonication: A review," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 98, pp. 107–116, 2020. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.002

[32] Y. Wang, Y. Yang, Y. Zhao, *et al.*, "Insights into ultrasonication treatment on the characteristics of cereal proteins: Functionality, conformational and physicochemical characteristics," *Foods*, 12(5), 971, 2023. https://doi.org/10.3390/foods12050971

[33] H. Feng, G. V. Barbosa-Cánovas, and J. Weiss, *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing* (Food Engineering Series). Springer, 2011. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7472-3

[34] S. Kang, J. Zhang, X. Guo, Y. Lei, and M. Yang, "Effects of ultrasonic treatment on the structure, functional properties of chickpea protein isolate and its digestibility in vitro," *Foods,* vol. 11, no. 6, pp. 880, 2022. https://doi.org/10.3390/foods11060880

[35] G. Akhtar, F. A. Masoodi, "Structuring functional mayonnaise incorporated with Himalayan walnut oil Pickering emulsions by ultrasound assisted emulsification," *Ultrasonics Sonochemistry,* vol. 86, pp. 106022, 2022. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106022

## ABSTRACT

### EVALUATION OF FUNCTIONAL PROPERTIES OF PROTEINS IN GERMINATED HYACINTH BEAN FLOUR UNDER DIFFERENT TREATMENT METHODS

Hoang Thi Truc Quynh, Le Thi Hong Anh*

*Ho Chi Minh City University of Industry and Trade*

*Email: *anhlth@huit.edu.vn*

This study aimed to evaluate the effects of different processing methods, including traditional germination, exogenous γ-aminobutyric acid (GABA) supplementation, and ultrasonic treatment, on the functional properties of proteins in germinated hyacinth bean (*Lablab purpureus*) flour. The investigated properties included foaming capacity (FC), foam stability (FS), water-holding capacity (WHC), oil-holding capacity (OHC), emulsifying capacity (EC), and emulsion stability (ES). The results indicated that the suitable germination conditions for the conventional method were 35 °C for 36 - 48 h, at which the protein exhibited higher functional properties. Exogenous GABA supplementation at concentrations of 10 - 15 mM significantly improved the surface properties and interaction capacity of the protein. Notably, ultrasonic treatment at 3.6 W/g for 10 min yielded the most pronounced effects, with substantial increases in protein solubility (30.98%), foaming capacity (310.76%), foam stability (91.22%), as well as emulsifying properties and water/oil holding capacities. These improvements can be attributed to structural modifications of proteins induced by endogenous enzymes during germination, combined with ultrasonic cavitation effects and the structural modulation role of GABA, which enhance molecular flexibility and interfacial adsorption capacity. The findings provide a scientific basis for the application of germinated hyacinth bean protein in the development of plant-based food products.

*Keywords:* Functional properties, hyacinth bean, GABA, germination, plant protein, ultrasound.