



NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA QUÁ TRÌNH NGÂM VÀ NẤY MẦM ĐẾN MỘT SỐ TÍNH CHẤT CỦA HẠT ĐẬU ĐỎ (*Vigna angularis*)

Phan Thị Bé¹, Đỗ Thị Bích Thủy^{2*}, Võ Văn Quốc Bảo¹, Nguyễn Văn Đức¹,
Nguyễn Văn Hoài Linh¹, Đào Lê Minh Tuấn¹, Nguyễn Văn Phụng³

¹ Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế, 102 Phùng Hưng, Huế, Việt Nam

² Đại học Duy Tân, 254 Nguyễn Văn Linh, Đà Nẵng, Việt Nam

³ Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam,
18 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội, Việt Nam

* Tác giả liên hệ: Đỗ Thị Bích Thủy <dotbichthuy@duytan.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 08-8-2025; Ngày chấp nhận đăng: 27-9-2025)

Tóm tắt. Nảy mầm là một biện pháp sinh học hiệu quả để cải thiện giá trị dinh dưỡng của hạt. Nghiên cứu này nhằm đánh giá ảnh hưởng của thời gian, nhiệt độ ngâm đến tỷ lệ nảy mầm và điều kiện nảy mầm đến hoạt độ enzyme trong hạt đậu đỏ. Hoạt độ amylase, cellulase và protease lần lượt được xác định bằng phương pháp phản ứng với Dinitrosalicylic acid và Folin, đo mật độ quang ở bước sóng 540 nm và 750 nm. Thành phần amino acid và đường được phân tích bằng GC-MS sau dẫn xuất TMS. Kết quả cho thấy, ngâm hạt ở 35°C trong 6 giờ cho tỷ lệ nảy mầm cao nhất (97,13%). Nảy mầm ở 25°C trong 36 giờ cho hoạt độ enzyme đạt giá trị cao nhất. Trong điều kiện nảy mầm này hàm lượng một số amino acid tăng đáng kể: L-glutamic acid (278,95%), L-alanin (242,7%), L-valine (504,88%), L-threonine (437,63%) và 4-aminobutanoic acid (75,58%), trong khi đó glycine giảm 27,85% so với hạt thô. Sau nảy mầm, một số amino acid mới xuất hiện ở dạng tự do như L-leucine, L-isoleucine, L-proline, serine, L-aspartic acid và phenylalanine. Tổng đường hòa tan ở hạt nảy mầm giảm so với hạt thô nhưng glucose, fructose và psicose tăng. Kết quả này là tiền đề cho việc ứng dụng tạo ra các sản phẩm từ hạt đậu đỏ nảy mầm có giá trị dinh dưỡng cao.

Từ khóa: amylase, cellulase, nảy mầm, protease, *Vigna angularis*

Study on the effects of soaking and germination on certain properties of red beans (*Vigna angularis*)

Phan Thi Be¹, Do Thi Bich Thuy^{2*}, Vo Van Quoc Bao¹, Nguyen Van Duc¹,
Nguyen Van Hoai Linh¹, Dao Le Minh Tuan¹, Nguyen Van Phuong³

¹ University of Agriculture and Forestry, Hue University, 102 Phung Hung St., Hue, Vietnam

² Duy Tan University, 254 Nguyen Van Linh, Danang, Vietnam

³ University of Science and Technology of Hanoi, Vietnam Academy of Science and Technology,
18 Hoang Quoc Viet St., Hanoi, Vietnam

* Correspondence to Do Thi Bich Thuy <dotbichthuy@duytan.edu.vn>

(Submitted: August 8, 2025; Accepted: September 27, 2025)

Abstract. Germination is an effective bioprocess for improving the nutritional value of seeds. This study evaluated the effects of soaking time and temperature on germination rate, and the effects of germination conditions on enzyme activities in adzuki beans (*Vigna angularis*). Amylase and cellulase activities were determined using the 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) assay at 540 nm, and protease activity by the Folin–Ciocalteu method at 750 nm. Free amino acids and sugars were analyzed by GC–MS following trimethylsilylation (TMS). Soaking at 35°C for 6h yielded the highest germination rate (97.13%). Germination at 25°C for 36 h produced peak hydrolytic enzyme activities. Under these germination conditions, several amino acids increased markedly—L-glutamic acid (278.95%), L-alanine (242.71%), L-valine (504.88%), L-threonine (437.63%), and 4-aminobutanoic acid (75.58%)—whereas glycine decreased by 27.85% compared with raw seeds. After germination, new free amino acids appeared (L-leucine, L-isoleucine, L-proline, serine, L-aspartic acid, and phenylalanine). Total soluble sugars decreased in germinated seeds relative to raw seeds, while glucose, fructose, and D-psicose increased. These findings provide a basis for developing germinated adzuki bean products with enhanced nutritional value.

Keywords: amylase, cellulase, germination, protease, *Vigna angularis*

1 Đặt vấn đề

Đậu đỏ (*Vigna angularis*) là loại cây trồng phổ biến ở Việt Nam và các nước trong khu vực Đông Nam Á. Hạt đậu đỏ mang lại giá trị dinh dưỡng quan trọng cho con người với 19,56% protein, 3,16% lipid, 3,29% tro và 5,79% chất xơ và là nguồn cung cấp các amino acid, vitamin và khoáng chất thiết yếu cho cơ thể [1]. Hơn nữa, trong hạt còn chứa các hợp chất phenolic có tác dụng chống oxy hoá và ngăn ngừa thoái hoá tế bào như phenolic acid, tannin, flavonoid... [2]. Đặc biệt, trong vỏ hạt đậu đỏ chứa các sắc tố anthocyanidin, bao gồm pelargonidin, delphinidin, cyanidin, petunidin và malvidin [3, 4], các hợp chất này góp phần tạo màu sắc đặc trưng của vỏ hạt cũng như hoạt tính chống oxy hóa mạnh.

Trong số các loại đậu, đậu đỏ (*Vigna angularis*) không chỉ được sử dụng phổ biến trong các thực phẩm truyền thống của người Việt Nam mà còn là cây họ đậu quan trọng thứ hai ở Nhật

Bản chỉ sau đậu tương, được trồng rộng rãi tại nhiều quốc gia (như Canada, Brazil) [5, 6] và là nguyên liệu quan trọng trong chế biến thực phẩm ngọt, thức uống và các sản phẩm dinh dưỡng [7, 8]. Đậu đỏ cũng có thể được tiêu thụ dưới dạng mầm non [9, 10]. So với các loại đậu khác, hạt đậu đỏ có hàm lượng phenolic và flavonoid cao, hàm lượng flavonoid tổng số trong vỏ hạt đạt 50,78 mg CE/g và 0,38 mg CE/g ở phần nhân [11]. Hàm lượng anthocyanin toàn hạt đạt khoảng 3,14 mg C3G equivalents/g trong bột khử béo [12]. Các nghiên cứu quốc tế cũng cho thấy đậu đỏ chứa nguồn protein dễ tiêu hóa, khoáng chất, vitamin và nhiều hợp chất sinh học khác như proanthocyanidin và saponin, mang lại các lợi ích sức khỏe đa dạng (chống oxy hóa, kháng viêm, điều hòa chuyển hóa lipid và glucose, bảo vệ thần kinh, xương và da) [13]. Điều này cho thấy đậu đỏ là một nguồn nguyên liệu tiềm năng để khai thác các hợp chất có hoạt tính sinh học trong phát triển thực phẩm chức năng và sản phẩm hỗ trợ sức khỏe.

Nảy mầm là một quá trình tự nhiên khởi đầu sự sinh trưởng của hạt, quá trình này kích hoạt hệ enzyme nội sinh như amylase, protease và lipase, giúp phân giải các đại phân tử phức tạp và có thể làm tăng sự giải phóng các hợp chất hoạt tính sinh học [14–18]. Các hợp chất đại phân tử như protein, carbohydrate được thủy phân phá vỡ các mối liên kết phức tạp và giải phóng các hợp chất đơn giản, cải thiện khả năng tiêu hóa các chất dinh dưỡng. Bên cạnh đó, quá trình nảy mầm làm giảm hàm lượng các yếu tố kháng dinh dưỡng trong hạt, cải thiện thành phần dinh dưỡng của hạt [1].

Về cơ bản, nảy mầm chỉ được thực hiện khi hạt đủ nước thông qua quá trình ngâm, trong đó ngâm đóng vai trò quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng nảy mầm và chất lượng hạt mầm. Nó phụ thuộc các yếu tố như nhiệt độ, thời gian và đặc điểm của hạt [19]. Nhiệt độ nước ngâm là yếu tố quan trọng nhất do ảnh hưởng đến tốc độ hút nước và sự trương nở của hạt. Lúc này, hạt hấp thụ nước làm tăng thủy phần hạt, thông thường hàm ẩm thích hợp để hạt nảy mầm khoảng 43–47%, việc kéo dài thời gian ngâm sẽ làm giảm hiệu quả của quá trình nảy mầm sau đó do hạt bị hư hỏng bởi vi sinh vật phát triển cũng như việc hư hỏng phôi mầm [20]. Nghiên cứu trên đối tượng hạt đậu đen, đậu trắng và đậu xanh, tỷ lệ nảy mầm các loại hạt này đạt giá trị cao nhất khi ngâm hạt nhiệt độ 30°C tương ứng 99,23%, 91,23% và 99,08%. Tuy nhiên khi ngâm ở nhiệt độ 50°C tỷ lệ nảy mầm của các loại đậu trên lại giảm xuống tương ứng 95,14%, 88,34% và 95,14% [21].

Nhiều nghiên cứu gần đây cho thấy rằng quá trình nảy mầm không chỉ cải thiện giá trị dinh dưỡng của hạt mà còn đóng vai trò quan trọng trong việc giải phóng các hợp chất hoạt tính sinh học, đặc biệt là polyphenol tự do [22, 23]. Quá trình này liên quan mật thiết đến sự hoạt hóa hệ enzyme thủy phân như amylase, protease và cellulase. Khi hoạt độ các enzyme này tăng cao, các liên kết giữa polyphenol và chất nền (protein, polysaccharide hoặc thành phần thành tế bào) bị phá vỡ, từ đó làm tăng hàm lượng polyphenol ở dạng tự do có hoạt tính sinh học cao hơn [24].

Trên thế giới, một số nghiên cứu đã chứng minh quá trình nảy mầm của đậu đỏ có thể làm gia tăng đáng kể hàm lượng polyphenol và hoạt tính chống oxy hóa [1, 25]. Các công trình ở

không chỉ tập trung vào anthocyanin và polyphenol mà còn hệ thống hóa thành phần hóa học, tính chất lý hóa và tác dụng sinh học đa dạng của đậu đỏ [13]. Tại Việt Nam, đậu đỏ cũng đã được nghiên cứu ở nhiều khía cạnh. Kết quả cho thấy quá trình rang có thể làm giảm tannin và chất ức chế trypsin nhưng đồng thời cũng gây tổn thất anthocyanin và làm suy giảm khả năng chống oxy hóa [26]. Một khảo sát khác đã đánh giá hàm lượng flavonoid và khả năng khử gốc tự do của cao chiết đậu đỏ, tuy nhiên mới chỉ dừng lại trên đối tượng hạt đậu đỏ thô, chưa xem xét biến đổi trong giai đoạn nảy mầm hạt [27]. Ngoài ra, nghiên cứu ứng dụng gần đây đã bước đầu khai thác quá trình ngâm, nảy mầm nhằm gia tăng protein và GABA trong hạt [28]. Mặc dù cung cấp cơ sở dữ liệu quan trọng, các công trình này vẫn chỉ dừng lại ở việc mô tả thành phần hóa học hoặc đánh giá tác động của một số xử lý sau thu hoạch. Đặc biệt, ảnh hưởng cụ thể của các điều kiện ngâm và nảy mầm (nhiệt độ, thời gian) đến sự thay đổi thủy phân, tỷ lệ nảy mầm, hoạt hóa hệ enzyme thủy phân (amylase, protease, cellulase), cũng như sự biến đổi thành phần amino acid và đường của đậu đỏ vẫn chưa được nghiên cứu đầy đủ. Đây là cơ sở quan trọng để hiểu rõ hơn cơ chế giải phân giải các hợp chất phức tạp, đồng thời tối ưu hóa điều kiện chế biến hạt mầm phục vụ cho các ứng dụng trong công nghệ thực phẩm và sản xuất thực phẩm chức năng.

Trong nghiên cứu này, các yếu tố (nhiệt độ và thời gian) trong giai đoạn ngâm và nảy mầm được khảo sát nhằm xác định các điều kiện thích hợp để hoạt hóa enzyme thủy phân (amylase, protease, cellulase) thúc đẩy giải phóng các hợp chất đơn giản trong hạt. Kết quả của nghiên cứu này sẽ là tiền đề cho các nghiên cứu ứng dụng tiếp theo tạo ra các sản phẩm có hàm lượng dinh dưỡng cao.

2 Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1 Vật liệu

Hạt đậu đỏ được trồng trong vụ Xuân năm 2024 tại thôn Phú Ổ, phường Hương Chữ, thành phố Huế. Hạt sạch, không chứa tạp chất, không hư hỏng hay tổn thương vật lý. Hạt có kích thước đồng đều và có độ ẩm 7,32%. Các mẫu được đóng trong túi PE, bảo quản ở 4°C cho đến khi thực hiện các thí nghiệm.

2.2 Phương pháp nghiên cứu

Xác định nhiệt độ và thời gian ngâm

Hạt được lựa chọn và ngâm ngập nước tại ba mức nhiệt độ khác nhau: 25°C; 35°C; 45°C. Lấy mẫu sau 2 giờ; 4 giờ; 6 giờ; 8 giờ và sấy đến khối lượng không đổi để xác định thủy phần [25]. Các mẫu đạt 40–50% được dùng cho thí nghiệm nảy mầm.

Xác định điều kiện nảy mầm cho hoạt tính enzyme cao

Mẫu hạt sau ngâm được nảy mầm ở các nhiệt độ từ 20°C đến 35°C. Mẫu được lấy định kỳ sau mỗi 12 giờ đến 108 giờ, phun nước cấp ẩm sau mỗi 2 giờ. Sấy thăng hoa, nghiền mịn (<1 mm), bảo quản ở -20°C để phân tích các chỉ tiêu.

Xác định thủy phân

Cân 5 gam (W_1) mẫu cho vào chén sấy. Sấy ở nhiệt độ $105 - 106^\circ\text{C}$, trong 3 giờ ± 5 phút [29], để nguội trong bình hút ẩm 20 phút. Cân lại khối lượng (W_2 , g). Thủy phân của mẫu (X%) biểu thị theo phần trăm khối lượng, theo công thức:

$$X (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

Đánh giá tỷ lệ nảy mầm sau ngâm

Các mẫu đạt độ ẩm 40–50% được nảy mầm ở 30°C trong 24 giờ trên khay chứa lớp bông ẩm vô trùng, phủ hai lớp gạc, phun sương. Tiêu chí nảy mầm là quan sát được phần rễ mầm bắt đầu nhô ra khỏi vỏ hạt [30]. Tỷ lệ nảy mầm (%) được tính theo công thức:

$$\text{Tỷ lệ nảy mầm (\%)} = \left(\frac{\text{Số hạt nảy mầm}}{\text{Tổng số hạt}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Kết quả tỷ lệ nảy mầm dùng để xác định nhiệt độ và thời gian ngâm phù hợp.

Xác định hoạt tính amylase

Hoạt tính amylase được xác định bằng phương pháp acid dinitrosalicylic (DNS). Lấy 5 g mẫu hạt đã được nghiền, thêm vào 40 mL dung dịch đệm phosphate pH 6.5, lắc trong 30 phút ở 4°C , ly tâm (12.000 vòng/phút, 15 phút, 4°C) thu dịch nổi chứa enzyme. Hỗn hợp phản ứng gồm 0,1 mL dung dịch tinh bột 1% và 0,1 mL dịch enzyme, ủ ở 50°C trong 10 phút. Bổ sung 0,2 mL dung dịch DNS 1%, ủ ở 100°C trong 10 phút. Làm nguội và đo mật độ quang ở bước sóng 540 nm, xác định hoạt tính dựa vào đường chuẩn glucose. Hoạt độ amylase được định nghĩa là lượng enzyme trong 1 g mẫu thủy phân tạo ra 1 μmol glucose trong 1 phút ở điều kiện thí nghiệm [31].

Xác định hoạt tính protease

Hoạt tính protease được xác định bằng phương pháp phản ứng với Folin. Lấy 5 g mẫu đã nghiền, thêm vào 40 mL dung dịch đệm Tris-HCl có pH 7,4, lắc trong 30 phút ở 4°C , ly tâm (12.000 vòng/phút, 15 phút, 4°C) thu dịch nổi chứa enzyme. Dịch enzyme (0,5 mL) được thêm 1 mL dung dịch casein 2% và ủ ở 40°C trong 10 phút. Bổ sung 2 mL dung dịch trichloroacetic acid (TCA) 5%. Ly tâm để thu dịch nổi, thêm 2 mL Na_2CO_3 6%, lắc nhẹ và bổ sung 0,5 mL Folin 0,2 N, ủ ở 40°C trong 30 phút. Độ hấp thụ được đo tại bước sóng 660 nm. Sử dụng tyrosine làm chất chuẩn, dựng đường chuẩn để tính hoạt tính protease. Hoạt tính protease được định nghĩa là lượng enzyme trong 1 g mẫu thủy phân tạo ra 1 μmol tyrosine trong 1 phút ở điều kiện thí nghiệm [24].

Xác định hoạt tính cellulase

Lấy 100 μL dung dịch enzyme thu được ở mục 2.2.5, thêm vào 100 μL sodium carboxymethyl cellulose 1% ủ ở 50°C trong 15 phút. Bổ sung 300 μL thuốc thử DNS 1% và trộn đều, ủ ở 100°C trong 10 phút. Đo độ hấp thụ tại bước sóng 540 nm. Hoạt độ cellulase được định nghĩa là lượng enzyme trong 1 g mẫu thủy phân tạo ra 1 μmol glucose trong 1 phút ở điều kiện thí nghiệm [32].

Đánh giá thành phần amino acid và đường trong hạt đậu đỏ nảy mầm và hạt đậu đỏ thô

Cân 10 g mẫu đã nghiền, chiết với 100 mL ethanol 50% (lắc 150 vòng/phút trong 1 giờ), ly tâm 12.000 vòng/phút trong 10 phút ở 4°C, quá trình lặp lại 2 lần. Dịch chiết được cô đặc chân không ở nhiệt độ 42°C và bảo quản ở -20°C cho quá trình phân tích [33]. Hàm lượng amino acid tự do và đường được phân tích bằng GC-MS sau dẫn xuất TMS (trimethylsilyl hóa) [34].

300 μL mẫu được methoxy hoá với 50 μL dung dịch methoxyamine HCL (20 mg/mL trong pyridine), trong 2 giờ ở 37°C. Sau đó, dẫn xuất hóa với 70 μL N-methyl-N-trimethylsilyltrifluoroacetamide ở 37°C trong 30 phút, để nguội và nạp mẫu. Thành phần hóa học của các mẫu được phân tích bằng hệ thống sắc ký khí (GC) Agilent 7890A, đầu dò Agilent 5975C và cột HP-5MS (60 m $\times$ 0,25 mm, độ dày màng 0,25 μm) (Agilent Technologies, CA, USA). Đầu phun được đặt ở 250°C, helium được sử dụng làm khí mang với tốc độ dòng 1 mL/phút, chương trình nhiệt từ 80°C lên 240°C với tốc độ 4°C/phút. Tỷ lệ phân chia 100:1 và thể tích tiêm mẫu là 1 μL . Chế độ quét toàn bộ MSD được áp dụng dưới 70 eV điện áp ion hóa, dòng phát xạ 40 mA và phạm vi khối quét thu nhận 35–450 amu. So sánh phổ khối với thư viện W09N08 và NIST Chemistry WebBook. Chỉ số khúc xạ tính bằng phần mềm MassFinder 4.0 dựa trên n-alkan tương đồng có cùng điều kiện và diện tích đỉnh GC-FID dùng để tính toán.

Phân tích thống kê

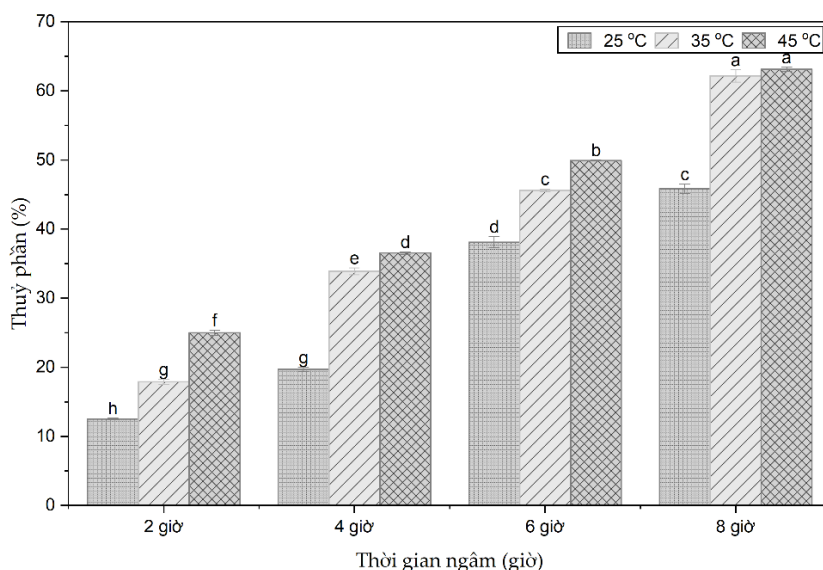
Thí nghiệm được lặp lại 3 lần. Các số liệu được phân tích phương sai (ANOVA), phần mềm Minitab phiên bản 20 với kiểm định Tukey ($p < 0,05$). Số liệu là giá trị trung bình của ba lần lặp lại cùng với độ lệch chuẩn (Standard Deviation, SD).

3 Kết quả và thảo luận

3.1 Sự thay đổi thủy phân hạt đậu đỏ trong quá trình ngâm ở các nhiệt độ khác nhau

Kết quả ở Hình 1 cho thấy, nhiệt độ ngâm và thời gian ngâm ảnh hưởng đáng kể đến thủy phân của hạt đậu đỏ. Ở cùng một thời điểm, hạt ngâm ở nhiệt độ cao hơn sẽ hấp thụ nước nhanh hơn. Sau 2 giờ ngâm, thủy phân của hạt ở 45°C ($25,01 \pm 0,38\%$) cao hơn đáng kể so với 35°C ($17,91 \pm 0,36\%$) và 25°C ($12,51 \pm 0,12\%$) ($p < 0,05$). Tuy nhiên, sau 8 giờ ngâm, thủy phân của hạt ở 35°C ($62,15 \pm 0,89\%$) và 45°C ($63,12 \pm 0,32\%$) không có sự khác biệt đáng kể ($p > 0,05$), cho thấy tại thời điểm này hạt đậu đỏ đã bão hoà lượng nước hút vào nên không có sự sai khác giữa các mẫu. Bên cạnh đó, khi tăng thời gian ngâm, thủy phân của hạt cũng tăng dần cùng với thời gian. Cụ thể, sau 8 giờ ngâm thủy phân đạt $45,84 \pm 0,65\%$ tăng gấp 3,66 lần so với thời điểm 2 giờ khi ngâm ở 25°C. Tương tự, sau 6 giờ ngâm thủy phân đạt $45,61 \pm 0,20\%$ tăng gấp 1,55 lần so với thời điểm 2

giờ khi ngâm ở 35°C. Nghiên cứu trên đối tượng hạt đậu tương cũng cho thấy khả năng hút nước tối đa đạt khoảng 130%, với thời gian ngâm tối ưu lần lượt là 24 giờ ở 4°C, 12 giờ ở 20°C, 9 giờ ở 30°C, 5 giờ ở 40°C và 3 giờ ở 50°C [22]. Tương tự, nghiên cứu đặc tính hấp thụ nước của hạt djlulis (*Chenopodium formosanum*) cũng cho thấy tốc độ hấp thụ nước của hạt tăng lên khi tăng nhiệt độ ngâm [24]. Mức thủy phần trong khoảng 40–50% được cho là thích hợp cho quá trình nảy mầm [36]. Kết quả ở Hình 1 cho thấy các mẫu đạt mức thủy phần thích hợp cho sự nảy mầm là: Mẫu 1: hạt được ngâm ở 25°C trong 8 giờ ($45,84 \pm 0,66\%$), Mẫu 2: hạt được ngâm ở 35°C trong 6 giờ ($45,61 \pm 0,20$ và Mẫu 3: hạt được ngâm ở 45°C trong 4 giờ ($49,91 \pm 0,07\%$). Các mẫu (Mẫu 1, Mẫu 2 và Mẫu 3) được dùng để khảo sát tỷ lệ nảy mầm nhằm chọn thời gian và nhiệt độ ngâm phù hợp.



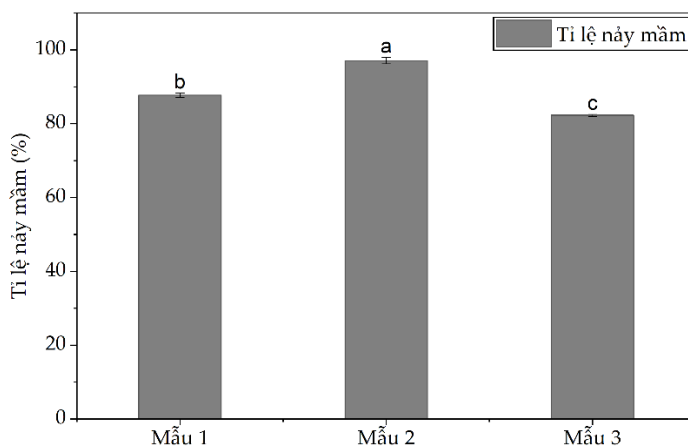
Hình 1. Sự biến đổi của thủy phần hạt theo thời gian ngâm và nhiệt độ ngâm

Ghi chú: Các giá trị mang chữ cái khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

3.2 Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian ngâm đến tỷ lệ nảy mầm của hạt đậu đỏ

Kết quả về tỷ lệ nảy mầm của hạt (Hình 2) cho thấy, Mẫu 2 (hạt được ngâm ở 35°C trong 6 giờ) cho tỷ lệ nảy mầm cao nhất ($97,13 \pm 0,61\%$). Khi hạt ngâm ở nhiệt độ cao hơn (Mẫu 3: hạt được ngâm ở 45°C trong 4 giờ) tỷ lệ nảy mầm đạt giá trị thấp nhất ($82,30 \pm 0,26\%$). Trong khi đó, Mẫu 1 (hạt được ngâm ở 25°C trong 8 giờ) tỷ lệ nảy mầm là $87,73 \pm 0,86\%$. Ngâm hạt ở 35°C cho thấy là điều kiện thích hợp nhất cho quá trình hút nước và hoạt hoá phôi ở hạt đậu đỏ. Có thể do ở mức nhiệt độ này, tốc độ khuếch tán nước trong hạt đậu đỏ tăng, giúp hạt hút nước nhanh và đồng đều, sớm đạt thủy phần thích hợp cho quá trình nảy mầm. Ngược lại, ở 25°C, mặc dù tỷ lệ nảy mầm vẫn đạt tương đối cao ($87,73\%$), nhưng tốc độ hút nước diễn ra chậm hơn, dẫn đến tỷ lệ nảy mầm thấp hơn so với 35°C. Khi ngâm hạt ở điều kiện nhiệt độ 45°C, tỷ lệ nảy mầm của hạt

thấp, có thể do nhiệt độ cao, hạt bị tổn thương cấu trúc tế bào, ảnh hưởng đến quá trình trao đổi chất và hoạt động của enzyme trong hạt. Hơn nữa, ngâm hạt ở nhiệt độ cao sẽ tăng tốc độ trao đổi chất của hạt và gây tiêu thụ quá mức lượng oxy hoà tan trong nước ngâm, dẫn đến phôi hạt bị hư hỏng. Kết quả sự phát triển của rễ mầm bị ức chế từ đó làm chậm quá trình nảy mầm [32]. Nghiên cứu trên đối tượng hạt đậu tương giống DT2008 cho kết quả gần tương đồng với công trình này. Kết quả cho thấy, khi ngâm hạt trong thời gian 6 giờ, nhiệt độ 30°C tỷ lệ nảy mầm từ 90–95% [37]. Như vậy, chế độ ngâm ở 35°C trong 6 giờ hạt đạt thủy phần thích hợp và cho tỷ lệ nảy mầm đạt cao nhất. Kết quả này được sử dụng cho các nghiên cứu tiếp theo.



Hình 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian ngâm đến tỷ lệ nảy mầm

Ghi chú: Các giá trị mang chữ cái khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Mẫu 1: ngâm ở 25°C, 8 giờ; Mẫu 2: ngâm ở 35°C, 6 giờ; Mẫu 3: ngâm ở 45°C, 4 giờ

3.3 Đánh giá sự thay đổi về hoạt tính enzyme trong quá trình nảy mầm hạt đậu đỏ

Trong quá trình nảy mầm, các enzyme thủy phân trong hạt bắt đầu được hoạt hoá (Bảng 1, Bảng 2, Bảng 3) và chuyển từ trạng thái liên kết sang trạng thái tự do [38].

Trong mẫu hạt thô, hoạt tính của tất cả các enzyme đều rất thấp, với protease ở mức 0,23 U/g DW, amylase 2,45 đến 2,49 U/g DW và cellulase khoảng 0,10 U/g DW. Ngay sau khi ngâm, các enzyme đã bắt đầu được hoạt hoá. Nhìn chung, hoạt độ của các enzyme (protease, amylase và cellulase) tương đối cao và khá ổn định trong suốt quá trình nảy mầm ở nhiệt độ 25°C và 30°C. Hoạt độ các enzyme khi nảy mầm ở nhiệt độ 25°C gần như tăng cao và giữ mức ổn định trong khoảng thời gian từ 24 đến 84 giờ. Trong khi đó, khi nảy mầm ở 20°C, hoạt độ các enzyme này không tăng đáng kể và thấp nhất so với các mức nhiệt độ còn lại. Khi nảy mầm ở nhiệt độ 35°C, hoạt tính của các enzyme trong hạt đậu đỏ tăng trong thời gian ngắn nhưng lại suy giảm nhanh, không ổn định. Có thể ở nhiệt độ 35°C, giai đoạn đầu kích thích mạnh quá trình trao đổi chất và hoạt hóa nhanh các enzyme thủy phân (amylase, protease, cellulase), khiến hoạt độ enzyme tăng nhanh. Tuy nhiên, cường độ hô hấp cao cùng với tốc độ tiêu hao cơ chất nhanh gây biến tính

enzyme, mất cân bằng nội bào và thiếu oxy cục bộ làm hoạt độ enzyme suy giảm nhanh sau 60 giờ nảy mầm.

Trong nghiên cứu này, hoạt độ protease của hạt đậu đỏ khi nảy mầm ở nhiệt độ 25°C đạt giá trị cao nhất và ổn định trong khoảng thời gian nảy mầm từ 24 giờ đến 84 giờ, dao động trong khoảng 2,33 đến 2,48 U/g DW. Kết quả này có sự tương đồng với hạt đậu xanh, hoạt tính của protease của hạt đậu xanh trong quá trình nảy mầm tăng đáng kể sau 24 giờ và tiếp tục tăng lên đến 48 giờ (8,16 U/g), sau đó giảm dần từ 72 đến 96 giờ nảy mầm [39].

Bảng 1. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian nảy mầm đến hoạt độ protease của hạt đậu đỏ trong quá trình nảy mầm

Nhiệt độ (°C) Thời gian (giờ)	Hoạt độ protease (U/g DW)			
	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
Hạt thô	0,23 ^a ± 0,01			
Hạt ngâm	0,60 ^{no} ± 0,01			
12 giờ	0,62 ^{no} ± 0,02	1,48 ^{ikl} ± 0,01	1,53 ^{ijk} ± 0,01	1,61 ^{hij} ± 0,03
24 giờ	0,66 ⁿ ± 0,04	2,45 ^{ab} ± 0,01	2,36 ^{abc} ± 0,02	2,25 ^{cd} ± 0,02
36 giờ	0,65 ^{no} ± 0,02	2,48 ^a ± 0,04	2,38 ^{abc} ± 0,03	2,20 ^d ± 0,02
48 giờ	0,90 ^m ± 0,01	2,48 ^a ± 0,01	2,31 ^{bcd} ± 0,10	2,03 ^e ± 0,03
60 giờ	0,81 ^m ± 0,02	2,44 ^{ab} ± 0,04	1,93 ^{ef} ± 0,11	1,64 ^{hi} ± 0,09
72 giờ	0,84 ^m ± 0,03	2,40 ^{ab} ± 0,04	1,93 ^{ef} ± 0,10	1,55 ^{ijk} ± 0,06
84 giờ	0,86 ^m ± 0,02	2,33 ^{bcd} ± 0,05	1,84 ^{fg} ± 0,04	1,53 ^{ijk} ± 0,03
96 giờ	0,52 ^{op} ± 0,07	2,04 ^e ± 0,10	1,60 ^{hij} ± 0,01	1,42 ^{kl} ± 0,01
108 giờ	0,44 ^p ± 0,01	1,72 ^{gh} ± 0,06	1,56 ^{ijk} ± 0,03	1,35 ^l ± 0,01

Ghi chú: Số liệu được trình bày trong bảng là trung bình ± độ lệch chuẩn (SD) (n = 3). Các giá trị mang chữ cái khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Đơn vị: U/g DW (DW: trọng lượng khô)

Tương tự như protease, hoạt độ amylase của hạt đậu đỏ khi nảy mầm ở 25°C cũng tăng mạnh sau 24 giờ (17,41 ± 0,07 U/g DW) và duy trì ổn định đến 72 giờ (18,12 ± 0,14 U/g DW). Kết quả này tương đồng với nghiên cứu trong quá trình nảy mầm hạt đậu mắt đen (*Vigna unguiculata*) ở 25°C, hoạt tính của α-amylase tăng từ 85,6 đến 720,9 μmol maltose/mL khi tăng thời gian nảy mầm từ khi ngâm đến 72 giờ. Hoạt tính của enzyme này đạt cực đại sau 3 ngày nảy mầm [38]. Hơn nữa, ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian đến hoạt tính của enzyme trong quá trình ngâm, nảy mầm cũng được thể hiện ở hạt djulis (*Chenopodium formosanum*). Kết quả sau 24 giờ, hạt djulis ngâm nảy mầm ở nhiệt độ 15°C và 25°C có hoạt tính amylase cao hơn so với nhiệt độ 35°C. Ngược

lại, hạt được ngâm, nảy mầm ở nhiệt độ cao hơn (25°C và 35°C) hoạt tính protease,cellulase lại được ghi nhận là vượt trội so với hạt ngâm nảy mầm ở nhiệt độ 15°C. Điều này cho thấy điều kiện tối ưu để hạt giải phóng mỗi loại enzyme là khác nhau [24].

Bảng 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian nảy mầm đến hoạt độ amylase của hạt đậu đỏ trong quá trình nảy mầm

Nhiệt độ (°C) Thời gian (giờ)	Hoạt độ amylase (U/g DW)			
	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
Hạt thô	2,46 ^q ± 0,02			
Hạt ngâm	5,67 ^p ± 0,09			
12 giờ	7,01 ^o ± 0,19	12,41 ^h ± 0,13	13,07 ^g ± 0,04	14,74 ^e ± 0,04
24 giờ	7,60 ^{mn} ± 0,04	17,41 ^{bc} ± 0,07	17,17 ^c ± 0,09	17,15 ^c ± 0,07
36 giờ	8,14 ^{lm} ± 0,19	18,21 ^a ± 0,07	17,86 ^{ab} ± 0,03	17,04 ^c ± 0,27
48 giờ	8,38 ^l ± 0,20	18,19 ^a ± 0,06	16,46 ^d ± 0,03	14,07 ^f ± 0,05
60 giờ	9,24 ^k ± 0,05	18,17 ^a ± 0,12	16,16 ^d ± 0,48	11,12 ⁱ ± 0,19
72 giờ	8,31 ^l ± 0,02	18,12 ^a ± 0,14	13,24 ^g ± 0,02	7,17 ^{no} ± 0,13
84 giờ	8,08 ^{lm} ± 0,02	14,03 ^f ± 0,36	9,99 ^{jk} ± 0,08	7,20 ^{no} ± 0,08
96 giờ	7,60 ^{mn} ± 0,08	11,54 ⁱ ± 0,28	9,52 ^{jk} ± 0,08	5,70 ^p ± 0,03
108 giờ	6,83 ^o ± 0,05	11,00 ⁱ ± 0,57	9,20 ^k ± 0,08	5,18 ^p ± 0,12

Ghi chú: Số liệu được trình bày trong bảng là trung bình ± độ lệch chuẩn (SD) (n = 3); Các giá trị mang chữ cái khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$); Đơn vị: U/g DW (DW: trọng lượng khô)

Đối với cellulase sau 36 giờ nảy mầm hoạt độ mới tăng mạnh (5,37 ± 0,11 U/g DW). Mức hoạt độ này vẫn được duy trì cho đến 60 giờ (5,13 ± 0,26 U/g DW).

Bảng 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian nảy mầm đến hoạt độ cellulase của hạt đậu đỏ trong quá trình nảy mầm

Nhiệt độ (°C) Thời gian (giờ)	Hoạt độ cellulase (U/g DW)			
	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
Hạt thô	0,13 ^a ± 0,02			
Hạt ngâm	0,94 ^{op} ± 0,05			
12 giờ	0,97 ^{op} ± 0,01	1,74 ^m ± 0,09	2,44 ^{ikl} ± 0,14	2,79 ^{hijk} ± 0,12
24 giờ	0,99 ^{op} ± 0,03	3,33 ^{fg} ± 0,24	4,30 ^e ± 0,45	4,44 ^{de} ± 0,02
36 giờ	1,04 ^{op} ± 0,02	5,37 ^a ± 0,11	5,29 ^{ab} ± 0,03	4,53 ^{de} ± 0,13
48 giờ	1,03 ^{op} ± 0,03	5,30 ^{ab} ± 0,13	5,04 ^{abc} ± 0,03	4,88 ^{bcd} ± 0,02
60 giờ	2,96 ^{ghi} ± 0,11	5,13 ^{ab} ± 0,26	3,75 ^f ± 0,05	2,51 ^{ijkl} ± 0,05
72 giờ	3,11 ^{gh} ± 0,02	4,66 ^{cde} ± 0,02	2,96 ^{ghi} ± 0,06	2,39 ^{kl} ± 0,22
84 giờ	3,12 ^{gh} ± 0,11	4,50 ^{de} ± 0,13	2,86 ^{hij} ± 0,07	1,65 ^{mn} ± 0,37
96 giờ	3,11 ^{gh} ± 0,02	3,20 ^{gh} ± 0,14	2,48 ^{ikl} ± 0,13	1,26 ^{no} ± 0,26
108 giờ	3,09 ^{gh} ± 0,09	2,41 ^{ikl} ± 0,05	2,07 ^{lm} ± 0,09	1,11 ^{op} ± 0,01

Ghi chú: Số liệu được trình bày trong bảng là trung bình ± độ lệch chuẩn (SD) (n = 3); Các giá trị mang chữ cái khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$); Đơn vị: U/g DW (DW: trọng lượng khô)

Như vậy, so với các mức nhiệt độ và thời gian nảy mầm, ở nhiệt độ nảy mầm 25°C, mức cao nhất của hoạt độ protease đạt được trong thời gian nảy mầm từ 36 đến 48 giờ (2,48 U/g DW), đối với amylase là từ 36 đến 72 giờ (18,12 đến 18,21 U/g DW) và cellulase là 36 giờ (5,37 ± 0,11 U/g DW). Kết quả này cho phép chọn điều kiện nhiệt độ và thời gian nảy mầm thích hợp để hoạt độ của tất cả các enzyme đã được khảo sát đạt mức cao là 25°C và 36 giờ.

3.4 Sự biến đổi về hàm lượng của các hợp chất đơn giản do sự nảy mầm trong hạt mầm đậu đỏ

Sự gia tăng hoạt tính của các enzyme thủy phân (protease, amylase và cellulase) trong quá trình nảy mầm (Bảng 1, Bảng 2, Bảng 3) đã thúc đẩy phân giải các hợp chất đại phân tử, từ đó làm tăng hàm lượng một số đường hoà tan và amino acid tự do trong hạt mầm đậu đỏ (Bảng 4, Bảng 5).

Bảng 4. Sự biến đổi của thành phần amino acid của đậu đỏ thô và đậu đỏ nảy mầm

Thành phần amino acid	Công thức	Hàm lượng (mg/g DW)		Mức thay đổi (%)
		Hạt thô	Hạt nảy mầm	
L-alanine	$C_9H_{23}NO_2Si_2$	0,45	1,55	242,71
L-valine	$C_{11}H_{27}NO_2Si_2$	0,17	1,03	504,88
L-leucine	$C_{12}H_{29}NO_2Si_2$	ND	0,45	N
L-isoleucine	$C_{12}H_{29}NO_2Si_2$	ND	0,38	N
L-proline	$C_{11}H_{25}NO_2Si_2$	ND	0,42	N
Glycine	$C_{11}H_{29}NO_2Si_3$	0,80	0,58	-27,85
Serine	$C_{12}H_{31}NO_3Si_3$	ND	0,53	N
L-threonine	$C_{13}H_{33}NO_3Si_3$	0,15	0,83	437,63
L-aspartic acid	$C_{13}H_{31}NO_4Si_3$	ND	1,06	N
4-aminobutanoic acid	$C_{13}H_{33}NO_2Si_3$	0,95	1,68	75,58
L-glutamic acid	$C_{14}H_{33}NO_4Si_3$	0,98	3,73	278,95
Phenylalanine	$C_{15}H_{27}NO_2Si_2$	ND	0,24	N
Tổng hàm lượng		3,52	12,48	255,01

Ghi chú: ND: Không phát hiện; N: Mới phát hiện sau khi nảy mầm; Đơn vị: U/g DW (DW: trọng lượng khô)

Hàm lượng amino acid tổng số của hạt nảy mầm so với hạt chưa nảy mầm tăng 255,01% (từ 3,52 mg/g DW lên 12,48 mg/g DW) (Bảng 4). Kết quả này có mối liên hệ chặt chẽ với sự gia tăng đáng kể hoạt tính protease trong hạt đậu đỏ trong quá trình nảy mầm (Bảng 1). Trong giai đoạn này, protease được hoạt hoá mạnh đã thuỷ phân protein dự trữ thành các peptide ngắn và amino acid tự do, làm tăng đáng kể hàm lượng amino acid tổng số trong hạt mầm. Đáng chú ý, L-valine tăng mạnh nhất (504,88%), từ 0,17 mg/g DW lên 1,03 mg/g DW và 4-Aminobutanoic acid (GABA) cũng tăng từ 0,95 mg/g DW ở hạt chưa nảy mầm lên 1,68 mg/g DW trong hạt nảy mầm (tăng 75,58%). Xu hướng gia tăng GABA này cũng được ghi nhận ở các loài đậu khác [28]. Tương tự, ở đậu ván trắng (*Lablab purpureus*), quá trình nảy mầm làm hàm lượng GABA tăng rõ rệt so với hạt thô (1,34 mg/g DW), đạt 2,13 mg/g DW sau 36 giờ nảy mầm ở 32 °C [41]. Đặc biệt, hoạt hoá mạnh mẽ của protease trong quá trình nảy mầm góp phần hình thành một số amino acid mới như L-leucine, L-isoleucine, L-proline, serine, L-aspartic acid và phenylalanine.

Ngược lại, hàm lượng glycine giảm 27,85% sau khi nảy mầm, có thể do sự chuyển hóa glycine thành các hợp chất khác phục vụ cho quá trình sinh trưởng của cây mầm. Glycine cũng được cho là tham gia vào con đường tổng hợp glutathione - một chất chống oxy hóa quan trọng bảo vệ tế bào mầm khỏi stress oxy hóa [42]. Như vậy, quá trình nảy mầm không chỉ làm tăng hàm lượng mà còn thúc đẩy hình thành mới một số amino acid, từ đó góp phần nâng cao giá trị dinh dưỡng của đậu đỏ.

Bảng 5. Sự biến đổi của thành phần đường do tác động của sự nảy mầm

Thành phần đường	Công thức	Hàm lượng (mg/g DW)		Mức thay đổi (%)
		Thô	Nảy mầm	
Sucrose	C ₃₆ H ₈₆ O ₁₁ Si ₈	140,31	130,56	-7,47
D-fructose, 1,3,4,5,6-pentakis-O-(trimethylsilyl)-, O-methyloxime	C ₂₂ H ₅₅ NO ₆ Si ₅	10,5	12,75	21,17
D-psicose, pentakis(trimethylsilyl) ether, methyloxime (syn)	C ₂₂ H ₅₅ NO ₆ Si ₅	5,68	7,50	24,26
D-mannose, 2,3,4,5,6-pentakis-O-(trimethylsilyl)-, O-methyloxime, (1Z)	C ₂₂ H ₅₅ NO ₆ Si ₅	ND	0,39	N
D-glucose, 2,3,4,5,6-pentakis-O-(trimethylsilyl)-, O-methyloxime, (1E)	C ₂₂ H ₅₅ NO ₆ Si ₅	14,78	21,18	30,24
D-glucose, 2,3,4,5,6-pentakis-O-(trimethylsilyl)-, O-methyloxime, (1Z)	C ₂₂ H ₅₅ NO ₆ Si ₅	1,50	1,98	24,21
D-pinitol, pentakis(trimethylsilyl) ether	C ₂₂ H ₅₄ O ₆ Si ₅	11,08	2,63	-320,56
1-deoxypentitol	C ₁₇ H ₄₄ O ₄ Si ₄	ND	0,22	N
Arabinofuranose, 1,2,3,5-tetrakis-O-(trimethylsilyl)	C ₁₇ H ₄₂ O ₅ Si ₄	1,07	ND	NA
D-galactose, 2,3,4,5,6-pentakis-O-(trimethylsilyl)-, O-methyloxime, (1Z)	C ₂₂ H ₅₅ NO ₆ Si ₅	3,01	ND	NA
Ribitol	C ₂₀ H ₅₂ O ₅ Si ₅	0,44	ND	NA
D-mannitol	C ₂₄ H ₆₂ O ₆ Si ₆	1,15	ND	NA
Tổng hàm lượng		189,06	177,20	-6,69

Ghi chú: ND: Không phát hiện; N: Mới phát hiện sau khi nảy mầm; NA: Không xác định mức thay đổi;

Đơn vị: mg/g DW (DW: trọng lượng khô)

Kết quả phân tích bằng GC-MS cho thấy tổng hàm lượng đường hòa tan trong hạt đậu đỗ thô đạt 189,06 mg/g DW, trong khi ở mẫu hạt sau 36 giờ nảy mầm giảm còn 177,20 mg/gDW, tương ứng mức giảm 6,69%. Sự thay đổi này phản ánh sự chuyển hóa sinh lý mạnh mẽ trong hạt giống khi bắt đầu quá trình nảy mầm. Thực tế, trong giai đoạn đầu của quá trình này, nhiều nghiên cứu đã ghi nhận hiện tượng giảm hàm lượng đường hòa tan, do các monosaccharide như glucose và fructose được tiêu thụ để đáp ứng nhu cầu năng lượng của tế bào, thông qua hoạt động hô hấp hiếu khí mạnh. Kết quả này tương đồng với sự thay đổi hàm lượng đường trong quá trình nảy mầm ở hai giống đậu lăng nảy mầm, hàm lượng đường hòa tan tổng số giảm (từ 4,3% xuống 2,0% với giống *Vulgaris* và từ 5,3% xuống 2,2% với giống *Variabilis*) [43].

Tại thời điểm 36 giờ, kết quả bảng 5 cho thấy một số đường đơn giản có xu hướng tăng rõ rệt, gồm glucose (tăng 30,24%), fructose (tăng 21,17%), và psicose (tăng 24,26%), cho thấy có quá trình thủy phân tinh bột sơ cấp đang diễn ra. Tuy nhiên, sự gia tăng này chưa đủ để bù lại sự mất

đi của các hợp chất khác, đặc biệt là sucrose (giảm 7,47%) và D-pinitol (giảm đến 320,56%), dẫn đến tổng hàm lượng đường hòa tan giảm nhẹ. Một số loại đường không còn phát hiện sau nảy mầm như galactose, arabinofuranose, ribitol và mannitol, có thể bị sử dụng triệt để cho quá trình sinh tổng hợp và chuyển hóa nội bào. Quan sát trên đối tượng hạt đậu lăng sau 144 giờ nảy mầm, kết quả cũng cho thấy sự thay đổi các loại đường riêng lẻ. Glucose không có trong hạt thô, nhưng xuất hiện ở mức 0,6–0,7% trong hạt nảy mầm, fructose tăng nhẹ (0,3%), nhóm oligosaccharides raffinose (raffinose, stachyose, verbascose, mannanotriose) biến mất hoàn toàn ở hạt nảy mầm [43]. Nhìn chung, xu hướng tăng một số đường đơn là phù hợp với sinh lý hạt nảy mầm đã được mô tả trong nhiều tài liệu khoa học trước đó [17, 44].

4 Kết luận

Nảy mầm là một phương pháp hiệu quả nhằm cải thiện giá trị dinh dưỡng và giải phóng các hợp chất hoạt tính sinh học trong hạt đậu đỏ. Kết quả nghiên cứu cho thấy, điều kiện ngâm ở 35°C trong 6 giờ và nảy mầm ở 25°C trong 36 giờ là thích hợp cho hoạt độ amylase, protease và cellulase đạt mức cao nhất. Quá trình này dẫn đến thay đổi đáng kể thành phần hoá học của hạt: tổng hàm lượng đường hòa tan giảm nhẹ, trong khi glucose và fructose lại tăng đáng kể do thủy phân tinh bột; hàm lượng amino acid tổng số tăng mạnh, đồng thời xuất hiện thêm nhiều amino acid thiết yếu như leucine, isoleucine, proline, serine và phenylalanine. Những biến đổi này khẳng định vai trò của nảy mầm trong việc nâng cao giá trị dinh dưỡng của hạt đậu đỏ, góp phần làm cơ sở phát triển các sản phẩm thực phẩm chức năng, phục vụ nhu cầu dinh dưỡng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được thực hiện với sự hỗ trợ tài chính từ Đề tài Đại học Huế mã số DHH2025-02-191. Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn, sự hỗ trợ quý giá này đã góp phần quan trọng vào quá trình hoàn thiện nghiên cứu.

Tài liệu tham khảo

1. Rizvi, Q. U. E. H., Guiné, R. P. F., Ahmed, N., Sheikh, M. A., Sharma, P., Sheikh, I., Yadav, A. N., & Kumar, K. (2024), Effects of soaking and germination treatments on the nutritional, anti-nutritional, and bioactive characteristics of Adzuki Beans (*Vigna angularis* L.) and Lima Beans (*Phaseolus lunatus* L.), *Foods*, 13(9), 1422. <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/9/1422>.
2. Shi, Z., Yao, Y., Zhu, Y., & Ren, G. (2016), Nutritional composition and biological activities of 17 Chinese adzuki bean (*Vigna angularis*) varieties, *Food and Agricultural Immunology*, 28(1):78–89.
3. Khang, D. T., Dung, T. N., Elzaawely, A. A., & Xuan, T. D. (2016), *Phenolic Profiles and Antioxidant Activity of Germinated Legumes*, *Foods*, 5(2):27.
4. Han, K.-H., Kitano-Okada, T., Seo, J.-M., Kim, S.-J., Sasaki, K., Shimada, K.-I., & Fukushima, M. (2015), Characterisation of anthocyanins and proanthocyanidins of adzuki bean extracts

- and their antioxidant activity, *Journal of Functional Foods*, 14, 692–701. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.02.018>.
5. Wang, L., Wang, J., & Cheng, X. (2019), Adzuki bean (*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi) breeding. In J. M. Al-Khayri, S. M. Jain, & D. V. Johnson (Eds.), *Advances in plant breeding strategies: Legumes* (Vol., 7, pp. 1–23). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23400-3_1.
 6. Chu, L., Zhao, P., Huang, X., Zhao, B., Li, Y., Yang, K., & Wan, P. (2021), Genetic analysis of seed coat colour in adzuki bean (*Vigna angularis* L.), *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*, 19(1), 67–73. <https://doi.org/10.1017/S1479262121000101>.
 7. Song, H. Y., & Yu, R. C. (2018), Optimization of culture conditions for gamma-aminobutyric acid production in fermented adzuki bean milk, *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(1), 74–81, <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.11.024>.
 8. Takahama, U., Hirota, S., & Yanase, E. (2019), Slow starch digestion in the rice cooked with adzuki bean: Contribution of procyanidins and the oxidation products, *Food Research International*, 119, 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.062>.
 9. Chiu, K.-Y. (2021), Changes in microstructure, germination, sprout growth, phytochemical and microbial quality of ultrasonication treated adzuki bean seeds, *Agronomy*, 11(6), Article 1093, <https://doi.org/10.3390/agronomy11061093>.
 10. Świeca, M., Herok, A., Piwowarczyk, K., Sikora, M., Ostanek, P., Gawlik-Dziki, U., Kapusta, I., & Czyż, J. (2020), Potentially bioaccessible phenolics from mung bean and adzuki bean sprouts enriched with probiotic—Antioxidant properties and effect on the motility and survival of AGS human gastric carcinoma cells, *Molecules*, 25(13), Article 2963. <https://doi.org/10.3390/molecules25132963>.
 11. Luo, J., Cai, W., Wu, T., & Xu, B. (2016), Phytochemical distribution in hull and cotyledon of adzuki bean (*Vigna angularis* L.) and mung bean (*Vigna radiate* L.), and their contribution to antioxidant, anti-inflammatory and anti-diabetic activities, *Food Chemistry*, 201, 350–360. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.101>.
 12. Sreerama, Y. N., Takahashi, Y., & Yamaki, K. (2012), Phenolic antioxidants in some *Vigna* species of legumes and their distinct inhibitory effects on α -glucosidase and pancreatic lipase activities, *Journal of Food Science*, 77(9), 927–933, <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02848.x>.
 13. Li H, Zou L, Li XY, Wu DT, Liu HY, Li HB, Gan RY. (2022), Adzuki bean (*Vigna angularis*): Chemical compositions, physicochemical properties, health benefits, and food applications. *Compr Rev Food Sci Food Saf.*, 21(3):2335–62, doi:10.1111/1541-4337.12945.

14. Xu, L., Chen, L., Yang, N., Chen, Y., Wu, F., Jin, Z., Xu, X. (2017), Impact of germination on nutritional and physicochemical properties of adlay seed (*Coixlachryma-jobi* L.), *Food Chem*, 229:312–318.
15. Ma, M., Zhang, H., Xie, Y., Yang, M., Tang, J., Wang, P., Yang, R., Zhenxin, G. (2020), Response of nutritional and functional composition, anti-nutritional factors and antioxidant activity in germinated soybean under UV-B radiation, *LWT Food Sci. Technol.*, 118:108709.
16. Han, A., Arijaje, E.O., Jinn, J.R., Mauromoustakos, A., Wang, Y.J. (2016), Effects of germination duration on milling, physicochemical, and textural properties of medium- and long-grain rice, *Cereal Chem*, 93:39–46.
17. Nkhata, S. G., Ayua, E., Kamau, E. H., & Shingiro, J.-B. (2018), Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes, *Food Science & Nutrition*, 6(8), 2446–2458. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fsn3.846>
18. Guzmán-Ortiz FA, Castro-Rosas J, Gómez-Aldapa CA, Mora-Escobedo R, Rojas-León A, Rodríguez-Marín ML, Falfán-Cortés RN, Román-Gutiérrez AD. (2018), Enzyme activity during germination of different cereals: A review. *Food Rev Int.*, 35(5):1–24. DOI:10.1080/87559129.2018.1514623.
19. Dong L, Yang Y, Zhao Y, Liu Z, Li C, He L, Liu L. (2024), Effect of different conditions on the germination of coix seed and its characteristics analysis, *Food Chemistry X.*, 22:101332. <http://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101332>.
20. Bagarinao NC, King J, Leong SY, Agyei D, Sutton K, Oey I. (2024), Effect of germination on seed protein quality and secondary metabolites and potential modulation by pulsed electric field treatment, *Foods*, 13(11):1598, <https://doi.org/10.3390/foods13111598>.
21. Trần Thị Ngọc Mai (2018), Ảnh hưởng của quá trình ngâm đến tỷ lệ nảy mầm của một số hạt họ đậu, Hội nghị Khoa học an toàn dinh dưỡng và an ninh lương thực lần 2 năm 2018, 52–58.
22. Huang X, Cai W, Xu B. (2024), Kinetic changes of nutrients and antioxidant capacities of germinated soybean (*Glycine max* L.) and mung bean (*Vigna radiata* L.) with germination time, *Food Chem.*, 143:268–76, doi:10.1016/j.foodchem.2013.07.080.
23. Chen, Z., Yu, L., Wang, X., Gu, Z., & Beta, T. (2016), Changes of phenolic profiles and antioxidant activity in canaryseed (*Phalaris canariensis* L.) during germination, *Food Chemistry*, 194, 608–618, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.060>.
24. Wen-Chien Lu, Yu-Tsung Cheng, Yung-Jia Chan, Jin Yan, Po-Hsien Li (2024), Effects of different soaking and germinating conditions on γ -aminobutyric acid, antioxidant activity, and chemical composition of djulis (*Chenopodium formosanum*), *Journal of Agriculture and Food Research*, 17 (5):101162.
25. Złotek, U., Szymanowska, U., Baraniak, B., & Karaś, M. (2015), Antioxidant activity of polyphenols of adzuki bean (*Vigna angularis*) germinated in abiotic stress conditions, *Acta*

- Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 14(1):55–63. <http://doi.org/10.17306/j.afs.2015.1.6>
26. Vu LTK., Nguyen NTM., Tran NTH., Vo HNA. (2023), Effects of roasting temperature on anti-nutritional factors and antioxidant property of adzuki bean (*Vigna angularis*) flour, *Journal of Technical Education Science*, 80:70–76, doi:10.54644/jte.80.2023.1494.
27. Nguyễn, T. T. T., & Đào, N. M. (2025), Khảo sát hàm lượng flavonoid tổng số và hoạt tính chống gốc tự do của cao chiết từ một số loại đậu trên thị trường Việt Nam, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ nhiệt đới*, 31, 101–108, <https://doi.org/10.58334/vrtc.jtst.n31.10>.
28. Nguyễn TL, Lâm HH. (2025), Khảo sát sự biến đổi thành phần dinh dưỡng của hạt đậu đỏ sau khi nảy mầm, *Tạp chí Công Thương – Các kết quả nghiên cứu khoa học và ứng dụng công nghệ*, 23(7), <https://tapchicongthuong.vn/khao-sat-su-bien-doi-thanh-phan-dinh-duong-cua-hat-dau-do-sau-khi-nay-mam-173210.htm>
29. ISTA (2023), *International Rules for Seed Testing*, Bassersdorf, Switzerland: International Seed Testing Association.
30. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN - 8548:2011 - Hạt giống cây trồng – Phương pháp kiểm nghiệm (2011), Hà Nội: Bộ Khoa học và Công nghệ.
31. Augustini, R., Herdiastuti, N. (2020), The Study of Amylase's Reaction Kinetics from Soybean Sprouts (*Glycine max* L.) in Hydrolyzing Starch, *International Joint Conference on Science and Engineering (IJCSE 2020, Advances in Engineering Research*, 96:331–336, doi.org/10.2991/aer.k.201124.060.
32. X. Dong, J. Ji, S. Zhang, D. Peng, Y. Wang, L. Zhang, J. Li, G. Wang (2022), Study on a lowtemperature cellulose-degrading strain: fermentation optimization, straw degradation, and the effect of fermentation broth on seed growth, *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 27(4):652–667.
33. Mustafa, A., Aman, P., Andersson, R., & Kamal-Eldin, A. (2007), Analysis of free amino acids in cereal products, *Food Chemistry*, 105(1):317–324. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.11.04420>
34. Osial M, Wilczewski S, Szulc J, Nguyen HD, Nguyen TKO, Skórczewska K, Majkowska-Pilip A, Żelechowska-Matysiak K, Niececka D, Pregowska A, et al (2023), Nanohydroxyapatite Loaded with 5-Fluorouracil and *Calendula officinalis* L. Plant Extract Rich in Myo-Inositols for Treatment of Ovarian Cancer Cells. *Coatings*, 13(11):1944. <https://doi.org/10.3390/coatings13111944>.
35. X. Li, X. Liu, Y. Hua, Y. Chen, X. Kong, C. Zhang (2019), Effects of water absorption of soybean seed on the quality of soymilk and the release of flavor compounds, *RSC Advances*, 9:2906–2918, DOI:10.1039/C8RA08029A.

36. Đỗ Thị Bích Thủy, Huỳnh Thị Diễm Uyên, Nguyễn Thị Vân Anh, Nguyễn Thị Thủy Tiên, Trần Thanh Quỳnh Anh, Nguyễn Thị Đan Huyền (2020), Công nghệ sản xuất và kiểm soát chất lượng đồ uống, *Nhà xuất bản Đại Học Huế*, 17.
37. Trần Thị Thúy, Nguyễn Thị Thu Hoài, Tống Thị Mơ (2018), Đánh giá hàm lượng một số yếu tố dinh dưỡng và enzyme trong giai đoạn nảy mầm sớm của hai giống đậu tương (*Glycine max*) DT84 và DT2008, *Tạp chí sinh học*, 40(1):76–83, DOI:10.15625/0866-7160/v40n1.10865.
38. Uriyo, Maria (2001), Changes in enzyme activities during germination of cowpeas (*Vigna unguiculata*), cv. California blackeye), *Food Chemistry*, 73:7–10, DOI:10.1016/S0308-8146(00)00269-7.
39. Rahman, M. & Banu, L. & Rahman, Md. Mashiar & Shahjadee, U. (2007), Changes of the enzymes activity during germination of different mungbean varieties, *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 42(2):213–216, DOI:10.3329/bjsir.v42i2.474.
40. Yongqi Yin, Chao Cheng and Weiming Fang (2018), Effects of the inhibitor of glutamate decarboxylase on the development and GABA accumulation in germinating fava beans under hypoxia-NaCl stress, *RSC Advances*, 8:20456–20461, DOI:10.1039/c8ra03940b.
41. Nguyễn Thị Thơm, Nguyễn Thị Định, Dương Thị Doanh, Cao Thị Thảo, Nguyễn Đức Doan (2021), Ảnh hưởng của nảy mầm đến hàm lượng axit gamma-aminobutyric, axit phytic và thành phần hóa học của đậu ván trắng (*lablab purpureus* (L.) sweet), *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*, 19(6):737–744.
42. Sabetta W, Paradiso A, Paciolla C, de Pinto MC. (2017), Chemistry, biosynthesis and antioxidative function of glutathione in plants. In: Hossain M, Mostofa M, Diaz-Vivancos P, Burritt DJ, Fujita M, Tran LS, editors. *Glutathione in Plant Growth, Development, and Stress Tolerance*, Cham (Switzerland): Springer; 2017. p. 1–27, doi:10.1007/978-3-319-66682-2_1.
43. Vidal-Valverde, C., & Frias, J. (1992), Changes in carbohydrates during germination of lentils, *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*, 194(6):461–464. <http://doi.org/10.1007/BF01197729>.
44. El-Adawy, T., Rahma, E., El-Bedawey, A. El-Beltagy (2003), Nutritional potential and functional properties of germinated mung bean, pea and lentil seeds, *Plant Foods Hum Nutr*, 58: 1–13. <http://doi.org/10.1023/B:QUAL.0000040339.48521.75>.