

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐIỀU KIỆN NẤY MẦM ĐẾN HÀM LƯỢNG GAMMA-AMINOBUTYRIC ACID VÀ ĐẶC TÍNH CHỨC NĂNG CỦA BỘT GẠO NÉP THAN NẤY MẦM VÙNG A LƯỚI, VIỆT NAM

Đoàn Thị Thanh Thảo¹, Nguyễn Văn Huế^{1,2*}, Nguyễn Thị Vân Anh¹

¹Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế;

²Viện Khảo thí và Bảo đảm chất lượng giáo dục - Đại học Huế.

*Tác giả liên hệ: nguyenvanhue@hueuni.edu.vn

Nhận bài: 17/05/2025 Hoàn thành phản biện: 27/06/2025 Chấp nhận bài: 02/07/2025

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của thời gian ngâm và ủ đến tỷ lệ nảy mầm và hàm lượng gamma-aminobutyric acid (GABA) trong gạo nếp than vùng A Lưới, Việt Nam. Độ ẩm hạt thích hợp cho nảy mầm (33–34%) đạt được sau 36 giờ ngâm, với tỷ lệ nảy mầm đạt 93%. Hàm lượng GABA tăng theo thời gian ủ, đạt cực đại 30,07 mg/100 g ở 36 giờ, sau đó giảm còn 22,63 mg/100g ở 48 giờ. Bột gạo nếp than nảy mầm có chỉ số hòa tan trong nước (WSI) và chỉ số hấp thụ nước (WAI) cao hơn đáng kể so với bột chưa nảy mầm, đồng thời hai chỉ số này tăng theo nhiệt độ nước. Thành phần dinh dưỡng của bột hạt mầm gồm 8,93% protein, 2,43% lipid và 75,47% carbohydrate. Với hàm lượng GABA tăng gấp 20 lần cùng các tính chất chức năng được cải thiện, bột gạo nếp than nảy mầm có tiềm năng ứng dụng trong phát triển các sản phẩm thực phẩm chức năng có giá trị gia tăng.

Từ khóa: Chỉ số hòa tan, GABA, Gạo nếp than A Lưới, Ngâm, Nảy mầm

EFFECTS OF GERMINATION CONDITIONS ON GAMMA-AMINOBUTYRIC ACID CONTENT AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF GERMINATED BLACK GLUTINOUS RICE FLOUR FROM A LUOI, VIETNAM

Doan Thi Thanh Thao¹, Nguyen Van Hue^{1,2*}, Nguyen Thi Van Anh¹

¹University of Agriculture and Forestry, Hue University;

²Institute of Testing and Education Quality Assurance – Hue University.

*Corresponding author: nguyenvanhue@hueuni.edu.vn

Received: 17/05/2025

Revised: 27/06/2025

Accepted: 02/07/2025

ABSTRACT

This study investigated the effects of soaking and incubation times on the germination rate and gamma-aminobutyric acid (GABA) content of black glutinous rice from A Lưới, Vietnam. The optimal moisture content for germination (33–34%) was achieved after 36 hours of soaking, resulting in a germination rate of 93%. GABA content increased with incubation time, reaching a peak of 30.07 mg/100 g at 36 hours, before decreasing to 22.63 mg/100 g at 48 hours. Germinated rice flour exhibited significantly higher water solubility index (WSI) and water absorption index (WAI) than non-germinated flour, with both indices increasing with water temperature. The germinated flour contained 8.93% protein, 2.43% lipid, and 75.47% carbohydrate. With a 20-fold increase in GABA content and enhanced functional properties, germinated black glutinous rice flour shows promise as an ingredient in the development of value-added functional food products.

Keywords: Water solubility index, GABA, A Luoi black glutinous rice, Soaking, Germination

1. MỞ ĐẦU

Gạo nếp than (*Oryza sativa* L.) là một loại gạo có màu, được sử dụng phổ biến ở các nước Châu Á. Trên thế giới, gạo nếp than thường dùng làm nguyên liệu cho các sản phẩm đồ ăn nhẹ và tráng miệng. Lớp vỏ ngoài (pericarp), thuộc lớp cám của gạo nếp than giàu hợp chất anthocyanin. Anthocyanin là một nhóm hợp chất có hoạt tính chống oxy hóa và có thể tạo màu trong thực phẩm (Rahim và cs., 2022). Gạo nếp than có hoạt tính chống oxy hóa cao hơn so với gạo nếp trắng và đỏ, nhờ chứa hàm lượng phenolic, flavonoid và anthocyanin vượt trội (Ali và Hashim, 2024). Tinh bột trong gạo nếp than có tỉ lệ amylopectin cao hơn so với gạo đen hoặc gạo trắng. Do đó, khi nấu chín, gạo nếp than cho cấu trúc dẻo và kết dính hơn. Ngoài ra, tỉ lệ amylopectin trong tinh bột gạo nếp cao còn giúp tăng khả năng giữ nước và trương nở cần thiết trong nhiều ứng dụng thực phẩm (Mustofa và cs., 2024).

Gạo nếp than đã được chứng minh là có những đặc điểm sinh lý và dinh dưỡng hỗ trợ cải thiện sức khỏe ở người. Quá trình nảy mầm tăng cường hoạt động của các enzyme nội sinh của hạt trong sự chuyển hóa các chất có phân tử lượng cao như carbohydrate, protein, lipid. Từ đó, nảy mầm làm tăng giá trị dinh dưỡng, hàm lượng các hợp chất có hoạt tính sinh học, và khả năng tiêu hóa của gạo mầm so với gạo chưa nảy mầm (Khatun và cs., 2023). Đặc biệt, trong quá trình nảy mầm, hàm lượng gamma-aminobutyric acid (GABA) - một hoạt chất sinh học trong hạt gạo có sự gia tăng đáng kể (Zhang và cs., 2014; Maisont và Narkrugsa, 2010). Trong thực vật, con đường sinh tổng hợp GABA được thực hiện thông qua chu trình GABA và quá trình phân giải polyamine. GABA là một sản phẩm chuyển hóa cuối cùng và chủ yếu được tạo ra từ quá trình khử carboxyl của

axit L-glutamic, xúc tác bởi enzyme glutamate decarboxylase (GAD, EC 4.1.1.15) (Zhang và cs., 2014). GABA là một axit amin phi protein phổ biến trong tự nhiên, đóng vai trò như một chất dẫn truyền thần kinh ức chế chủ yếu trong hệ thần kinh trung ương của động vật có vú. Nhiều nghiên cứu đã ghi nhận khả năng của GABA trong việc hỗ trợ phát triển tế bào thần kinh và cải thiện các vấn đề liên quan đến giấc ngủ và rối loạn khí sắc. Ngoài ra, GABA còn thể hiện tiềm năng sinh học với các tác dụng như điều hòa huyết áp, kiểm soát đường huyết, chống oxy hóa, chống viêm và giảm dị ứng (Ngo và cs., 2019).

Quá trình nảy mầm hạt gạo diễn ra khi đáp ứng đủ các điều kiện thích hợp về độ ẩm, nhiệt độ, thời gian và môi trường khí quyển. Quá trình này bắt đầu bởi giai đoạn ngâm hạt gạo trong nước tạo điều kiện cho nước xâm nhập vào nội nhũ và được giữ trong hạt nhờ sự tương tác giữa nước với protein và chất xơ (do Nascimento và cs., 2022). Thời gian ngâm và thời gian ủ hạt nảy mầm có ảnh hưởng đáng kể đến hàm lượng GABA được sinh tổng hợp trong hạt mầm (Zhang và cs., 2014; do Nascimento và cs., 2022). Trong quá trình nảy mầm, sự hoạt hóa enzyme GAD cùng với sự gia tăng hàm lượng glutamate đã thúc đẩy tích lũy GABA (Feng và cs., 2024).

Chỉ số hòa tan (WSI) và chỉ số hấp thụ nước (WAI) là những thông số hóa lý quan trọng phản ánh tính chất chức năng của bột, qua đó cung cấp cơ sở ban đầu để đánh giá tiềm năng ứng dụng trong công nghệ chế biến thực phẩm. Trong nghiên cứu của Dhillon và cs. (2020), quá trình nảy mầm được chứng minh là làm tăng chỉ số hòa tan trong nước và chỉ số hấp thụ dầu của bột lúa mì. Nảy mầm cũng làm tăng chỉ số hấp thụ nước của bột lúa mì, bột ngô và bột cao lương (Siddiqua và cs., 2019).

Gạo nếp than A Lưới là giống lúa nếp bản địa được canh tác quy mô nhỏ tại vùng cao A Lưới, thành phố Huế, hiện chưa có số liệu thống kê chính thức về diện tích và sản lượng. Giống nếp này có đặc điểm tương tự các giống nếp than khác, với hàm lượng anthocyanin và hợp chất chức năng cao, phù hợp để phát triển sản phẩm thực phẩm chức năng. Tuy nhiên, đến nay chưa có công bố khoa học về điều kiện nảy mầm cũng như các đặc tính chức năng như chỉ số hòa tan trong nước (WSI) và chỉ số hấp thụ nước (WAI) của bột nếp than A Lưới sau nảy mầm. Nghiên cứu này nhằm xác định điều kiện ngâm và ủ thích hợp cho quá trình nảy mầm của giống nếp này, hướng đến sản xuất bột hạt mầm có hàm lượng GABA cao, góp phần khai thác tiềm năng và nâng cao giá trị của nguồn nguyên liệu bản địa.

2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên liệu

Hạt giống gạo nếp than được mua từ người dân trồng lúa ở huyện A Lưới, thành phố Huế. Hạt được đưa đến phòng thí nghiệm của Khoa Cơ Khí và Công Nghệ, Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế để ổn định trước khi tiến hành nghiên cứu.

2.2. Phương pháp bố trí thí nghiệm ngâm và ủ nảy mầm

Quá trình ngâm và ủ nảy mầm được thực hiện theo phương pháp của Konwatchara và cs. (2014) với một số điều chỉnh. Gạo nếp than sau khi mua về được loại bỏ các hạt lép, hạt sâu bệnh và hạt không nguyên vẹn. Gạo nếp được ngâm với nước theo tỉ lệ 1:2,5 (w/v) ở nhiệt độ phòng. Nước ngâm được thay sau mỗi 6 giờ. Kết thúc thời gian ngâm, nước được đổ bỏ, gạo nếp được rửa lại bằng nước sạch và để ráo. Trải hai lớp vải ẩm vào đáy vật chứa, dàn đều gạo nếp lên trên, sau đó phủ thêm hai lớp vải ẩm và đặt ở nơi kín, tránh ánh sáng. Cho mẫu ủ nảy mầm trong 36 giờ ở nhiệt độ

thường. Tiến hành phun ẩm định kỳ sau mỗi 12 giờ. Sản phẩm thu được sau quá trình nảy mầm được gọi là hạt mầm nếp than A Lưới.

2.3. Phương pháp xử lý hạt mầm

Sau khi kết thúc quá trình ủ nảy mầm, hạt mầm được sấy bằng máy sấy bơm nhiệt ở 50°C cho đến khi hạt đạt độ ẩm 12%. Hạt mầm sau sấy được đem đi xay lứt (tách vỏ trấu), nghiền mịn thành bột và bảo quản trong túi nylon kín cho các thí nghiệm tiếp theo. Sản phẩm sau quá trình nghiền được gọi là bột hạt mầm nếp than A Lưới. Nhiệt độ sấy và độ ẩm hạt đạt được để kết thúc quá trình sấy được tham khảo theo nghiên cứu của Phan và cs. (2021).

2.4. Phương pháp bố trí thí nghiệm sấy

Một kilogram hạt sau khi ủ nảy mầm được rải đều vào khay và đưa vào máy sấy bơm nhiệt ở nhiệt độ 50°C. Trong quá trình sấy, khối hạt được đảo trộn định kỳ sau mỗi 3 giờ sấy để tăng độ đồng đều. Sau các mốc thời gian sấy 3, 6, 9, 12 và 15 giờ thì hạt được lấy mẫu để xác định độ ẩm. Kết thúc khảo sát sự biến đổi ẩm trong quá trình sấy khi mẫu hạt có độ ẩm nhỏ hơn 12%.

2.5. Phương pháp xác định tỷ lệ nảy mầm

Tiến hành lấy mẫu ngẫu nhiên tại các vị trí khác nhau trong khối hạt đang ủ nảy mầm với tổng khối lượng các mẫu khoảng 10 g. Sau đó, đếm số lượng các hạt có xuất hiện rễ mầm. Trong đó, hạt được xem đã nảy mầm khi mầm rễ đầu tiên xuyên qua vỏ trấu, có thể quan sát bằng mắt thường. Tỷ lệ nảy mầm được xác định bằng cách lấy tổng số hạt đã nảy mầm chia cho tổng số hạt trong mẫu, sau đó chuyển đổi sang đơn vị phần trăm.

2.6. Phương pháp xác định hàm lượng GABA

Quy trình phân tích hàm lượng GABA trong mẫu được tham khảo từ nghiên cứu của Zhang và cs. (2014) với một số điều chỉnh. Hai gam mẫu đã nghiền mịn

được cân chính xác và trích ly bằng ethanol 99,5% theo tỉ lệ 1:10 (w/v). Hỗn hợp được khuấy đều trong 15 phút, sau đó ly tâm hai lần liên tiếp (10 phút/lần, 3.000 vòng/phút). Phần dịch thu được được cô đặc bằng phương pháp cô quay chân không ở 55°C, tốc độ 200 vòng/phút nhằm loại bỏ ethanol, sau đó pha loãng lại với 10 mL nước cất để thu dịch trích ly chứa GABA. Lấy 1 mL dịch mẫu cho vào ống nghiệm thủy tinh, sau đó lần lượt bổ sung 0,2 mL dung dịch đệm borat 0,2 mol/L (pH 9,0), 1 mL dung dịch phenol 6% và 0,4 mL dung dịch natri hypochlorite 9%. Hỗn hợp được ủ trong bể cách thủy ở nhiệt độ sôi trong 10 phút, sau đó làm nguội nhanh các ống nghiệm bằng cách ngâm trong nước lạnh trong vòng 20 phút. Tiếp theo, tiến hành đo độ hấp thụ ở bước sóng 645 nm.

Hàm lượng GABA trong mẫu được tính toán dựa trên phương trình đường chuẩn đã thiết lập $y=1,12x + 0,0243$, với giá trị $R^2 = 0,9937$. Quy trình xây dựng đường chuẩn như sau: cân chính xác 20 mg chất chuẩn GABA cho vào bình định mức 100 mL, thêm nước cất đến vạch mức và lắc đều để hòa tan hoàn toàn. Dung dịch thu được có nồng độ 0,2 mg/mL. Hút lần lượt 0, 2, 4, 6, 8, 10 mL dung dịch chuẩn GABA vào 6 bình định mức, thêm nước cất đến 10 mL. Nồng độ dung dịch GABA thu được lần lượt là 0; 0,04; 0,08; 0,12; 0,16; 0,2 mg/mL. Lấy 1 mL dung dịch chuẩn ở các nồng độ trên hòa trộn với 0,2 mL dung dịch đệm borat 0,2 mol/L (pH 9,0), 1 mL dung dịch phenol 6% và 0,4 mL dung dịch natri hypochlorite 9%, ủ cách thủy 10 phút, làm nguội và đo độ hấp thụ ở bước sóng 645 nm.

2.7. Phương pháp xác định chỉ số hòa tan (WSI) và chỉ số hấp thụ nước (WAI)

Chỉ số hòa tan và chỉ số hấp thụ nước được xác định theo phương pháp của nghiên cứu Lapčiková và cs. (2021) với một số điều chỉnh. Cân 0,5 g bột hạt nếp than/bột hạt

mầm nếp than vào ống Falcon, thêm 15 mL nước cất và trộn kỹ trong vòng 1 phút bằng máy trộn vortex. Tiếp theo, các ống Falcon được xử lý nhiệt trong bể ổn nhiệt tại các mức 50, 60, 70, 80 và 90°C, duy trì nhiệt độ trong thời gian 30 phút. Sau mỗi 5 phút gia nhiệt, mẫu được đảo trộn đều trong vòng 1 phút. Mẫu sau khi để nguội đến nhiệt độ môi trường được ly tâm ở 4.000 vòng/phút trong thời gian 15 phút. Phần dịch nổi thu được đem đi đổ vào đĩa nhôm để sấy ở 105°C đến khối lượng không đổi, sau đó được cân để xác định chỉ số hòa tan; phần cặn ướt thu được dưới đáy ống Falcon được cân để xác định chỉ số hấp thụ nước. Công thức tính WSI và WAI như sau:

$$WSI (\%) = \frac{\text{Khối lượng phần chất rắn hòa tan sau sấy khô}}{\text{khối lượng mẫu bột}} \times 100$$

$$WAI (g/g) = \frac{\text{Khối lượng phần cặn ướt}}{\text{khối lượng mẫu bột}}$$

2.8. Phương pháp phân tích các thành phần hóa học

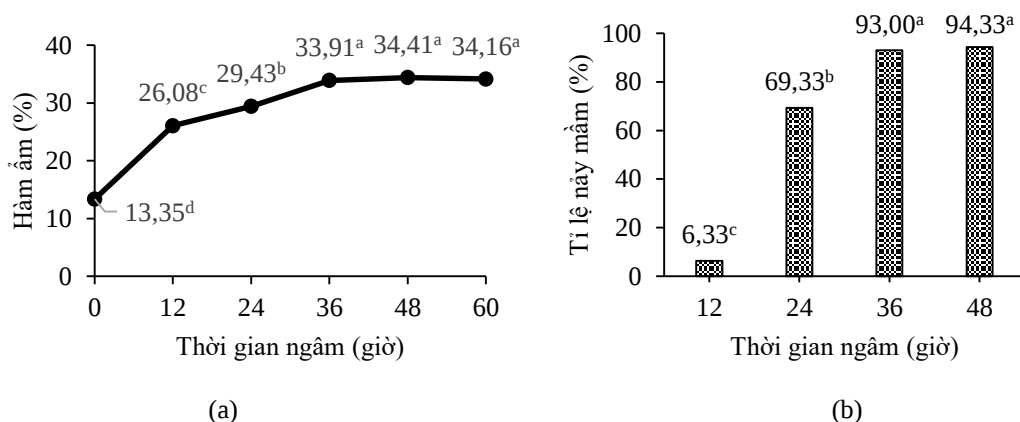
Độ ẩm của hạt được phân tích theo TCVN 4069:2009; hàm lượng protein được phân tích theo TCVN 9936:2013; hàm lượng lipid được xác định theo TCVN 10730:2015; định lượng carbohydrate theo phương pháp của Trung tâm Kiểm nghiệm thuốc, mỹ phẩm, thực phẩm thành phố Huế KNH/QTTN/TP-96.

2.9. Phương pháp xử lý số liệu

Các thí nghiệm được lặp lại 3 lần. Phân tích thống kê (phân tích phương sai - ANOVA) được thực hiện bằng phần mềm IBM SPSS 26. Các giá trị trung bình mẫu được so sánh bằng kiểm định Duncan với mức ý nghĩa $p < 0,05$.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của thời gian ngâm đến hàm lượng ẩm và tỉ lệ nảy mầm của hạt nếp than A Lưới



Hình 1. Sự biến đổi hàm ẩm (a) và tỉ lệ nảy mầm (b) theo thời gian ngâm của hạt nếp than A Lưới

Các mũ chữ cái khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Quá trình ngâm hạt nếp than A Lưới làm gia tăng hàm lượng ẩm trong hạt theo thời gian với các tốc độ hấp thụ khác nhau (Hình 1a). Trong 12 giờ ngâm đầu tiên, hàm lượng ẩm hạt tăng nhanh từ 13,35% đến 26,08%. Hàm lượng ẩm hạt tăng nhẹ hơn sau 24 giờ và 36 giờ ngâm tương ứng là 29,43% và 33,91%. Từ sau 36 giờ ngâm thì hàm ẩm hạt có xu hướng không tăng nữa với mức ý nghĩa $p > 0,05$. Như vậy, hạt nếp than A Lưới có thể hấp thụ nước tối đa sau 36 giờ ngâm với hàm lượng ẩm đạt được trong khoảng 33-34%.

Sự tăng nhanh hàm ẩm hạt trong khoảng thời gian ngâm ban đầu có thể giải thích bởi sự chênh lệch lớn về hàm lượng nước ở bên trong và bên ngoài hạt dẫn đến sự hút nước của hạt diễn ra nhanh chóng. Khi hạt đã hấp thụ nước đến một hàm lượng nhất định thì quá trình này diễn ra chậm lại và có xu hướng dừng lại khi đạt trạng thái cân bằng. Kết quả về sự thay đổi độ ẩm của hạt trong nghiên cứu này cho thấy sự tương

đồng với nghiên cứu của Nguyễn Tấn Hùng và cộng sự (2018) thực hiện trên năm giống lúa tại Đồng bằng sông Cửu Long. Hàm ẩm của hạt gạo Thái đạt trạng thái cân bằng ở 33,25% sau 35 giờ ngâm hạt cũng đã được

quan sát trong nghiên cứu của Maisont và Narkrugsa (2010).

Hình 1b minh họa tác động của thời gian ngâm lên tỉ lệ nảy mầm của hạt nếp than A Lưới. Kết quả cho thấy, phần lớn hạt không nảy mầm khi ngâm 12 giờ trước khi ủ. Tỉ lệ nảy mầm của hạt có sự tăng đáng kể khi ngâm hạt đến 24 giờ (69,33%). Tỉ lệ nảy mầm đạt khá cao (93,00%) khi thời gian ngâm là 36 giờ. Tuy nhiên, khi ngâm đến 48 giờ thì tỉ lệ này thay đổi không đáng kể với mức ý nghĩa $p > 0,05$. Ngâm hạt giúp tăng hàm lượng ẩm trong hạt – đây là bước đầu tiên tạo điều kiện để quá trình nảy mầm có thể diễn ra. Kết quả cho thấy rằng, việc tăng thời gian ngâm hạt lớn hơn 36 giờ không còn ý nghĩa cho mục đích tăng tỉ lệ nảy mầm. Hàm ẩm của hạt có sự tương quan với tỉ lệ nảy mầm và chất lượng nảy mầm hạt (Maisont và Narkrugsa, 2010). Trong nghiên cứu này, quá trình ngâm hạt có thể kết thúc ở mốc thời gian 36 giờ trước khi bắt đầu ủ hạt để có tỉ lệ nảy mầm cao nhất.

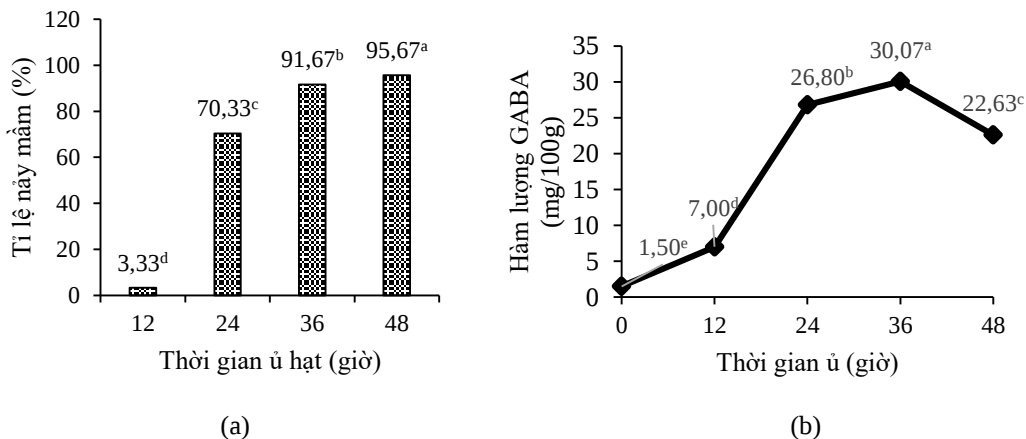
Trong nghiên cứu của Nguyễn Văn Toàn và cs. (2019), hạt gạo lứt tím thảo được Vĩnh Hòa có thể nảy mầm ở tỉ lệ cao nhất là 88,9% sau 20 giờ ngâm. Trong giai đoạn ngâm, quá trình hút nước của hạt phụ thuộc vào kích thước hạt, tính thấm thấu của vỏ hạt, thành phần hóa học của hạt, và nồng độ các chất điện giải trong nước (Marti và cs., 2020). Sự gia tăng tỉ lệ nảy mầm theo thời gian ngâm kéo dài cũng đã được ghi nhận ở giống hạt nếp than DH6 trong nghiên cứu của Phan và cs. (2021).

3.2. Tỉ lệ nảy mầm và sự biến đổi hàm lượng GABA trong hạt mầm nếp than A Lưới theo thời gian ủ hạt

Hạt nếp than A Lưới sau khi ngâm thì được ủ để kích thích quá trình nảy mầm. Hình 2a cho thấy, thời gian ủ càng dài thì tỉ

lệ nảy mầm hạt càng cao. Trong đó, tỉ lệ nảy mầm tăng đột biến trong khoảng thời gian ủ từ 12 giờ đến 24 giờ tương ứng với tỉ lệ từ 3,33% đến 70,33%. Khi ủ hạt lên đến 36 giờ và 48 giờ thì thêm khoảng 21-25% tổng số hạt tiếp tục nảy mầm với tổng tỉ lệ nảy mầm toàn khối hạt đạt được trên 90%. Như vậy, phần lớn hạt nếp than A Lưới (70%) đã nảy mầm trong vòng 24 giờ ủ hạt và để đạt trên 90% hạt nảy mầm thì cần ủ hạt trong vòng 36 giờ.

Hạt nảy mầm ở các tỉ lệ khác nhau tùy thuộc vào thời gian ủ, điều này phản ánh sự đa dạng về đặc điểm sinh lý. Những hạt chậm nảy mầm hoặc khó nảy mầm là do hạt đang ở trạng thái ngủ nghỉ hoặc hạt đã mất khả năng sống (Bareke, 2018).



Hình 2. Tỉ lệ nảy mầm (a) và sự biến đổi hàm lượng GABA (b) trong hạt mầm nếp than A Lưới theo thời gian ủ hạt

Các mũ chữ cái khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Hình 2b thể hiện sự biến đổi hàm lượng GABA được tích lũy trong hạt mầm nếp than A Lưới trong quá trình ủ. Kết quả cho thấy, hàm lượng GABA tăng nhanh trong 24 giờ ủ đầu tiên. Tại mốc 36 giờ ủ hạt, hàm lượng GABA đạt cực đại là 30,07 mg/100 g, cao gấp 20 lần so với nguyên liệu ban đầu. Tuy nhiên, khi tăng thời gian ủ lên

tới 48 giờ thì hàm lượng GABA có xu hướng giảm xuống chỉ còn 22,63 mg/100 g.

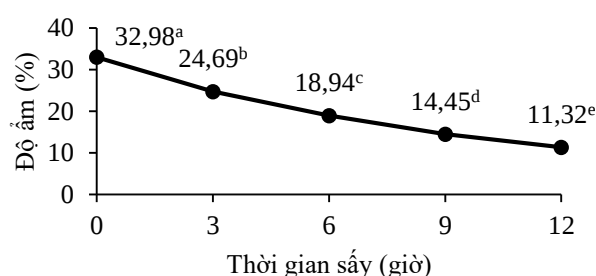
Khi thời gian nảy mầm kéo dài, hoạt tính của các enzyme phân giải protein nội sinh (như peptidase) tăng lên, thúc đẩy quá trình phân cắt protein thành các axit amin tự do, đặc biệt là axit glutamic – tiền chất quan trọng trong quá trình tổng hợp GABA (Hussain và cs., 2020). Việc tăng hàm

lượng GABA trong quá trình nảy mầm có thể được lý giải bởi sự xúc tác của enzyme glutamate decarboxylase (GAD), xúc tác quá trình chuyển hóa glutamate thành GABA (Phan và cs., 2021). Sự suy giảm hàm lượng GABA khi kéo dài thời gian nảy mầm có thể phản ánh chuyển hóa GABA qua chu trình GABA shunt, trong đó GABA-Transaminase xúc tác chuyển GABA thành succinic semialdehyde - chất trung gian trong chu trình TCA, đóng vai trò cung cấp năng lượng và nguyên liệu cho quá trình phát triển cây non (Jalil và cs., 2019).

Theo nghiên cứu của Zang và cs. (2014), hàm lượng GABA cũng đạt mức cao nhất sau 36 giờ ủ nảy mầm đối với hai giống gạo Jing 305 và Guichao. Gạo nếp than A Lưới nảy mầm trong nghiên cứu này có hàm lượng GABA (30,07 mg/100 g) ở 36 giờ ủ hạt cao hơn nhiều so với thời điểm đạt cực đại của 4 giống gạo lứt (18,54-19,07 mg/100 g) trong nghiên cứu của Karladee và Suriyong (2012), và cao hơn so với giống gạo IR50404 nảy mầm (269,23 mg/kg) theo nghiên cứu của Nguyễn Hoàng Khang và cs. (2016).

3.3. Sự biến đổi độ ẩm của hạt mầm nếp than A Lưới trong quá trình sấy

Hạt mầm nếp than sau khi nảy mầm có độ ẩm ban đầu cao (32,98%) không thích hợp cho quá trình bảo quản. Do đó, khối hạt mầm được sấy bằng máy sấy bơm nhiệt ở nhiệt độ 50°C để giảm độ ẩm xuống mức an toàn dưới 12%. Hình 3 thể hiện sự biến đổi độ ẩm của hạt mầm nếp than trong quá trình sấy trong khoảng thời gian từ 0-12 giờ. Đồ thị Hình 3 cho thấy độ ẩm hạt liên tục giảm trong suốt thời gian sấy. Trong đó, tốc độ thoát ẩm của hạt mầm giảm dần theo thời gian. Điều này có thể được giải thích là do hạt mầm có độ ẩm ban đầu cao (hút nước từ quá trình ngâm ủ trước đó) và lượng nước tự do liên kết lỏng lẻo với các thành phần của hạt nên dễ dàng được tách ra khỏi hạt dưới tác dụng của nhiệt độ cao. Ở giai đoạn sau của quá trình sấy, chủ yếu là quá trình tách nước liên kết chặt với nội nhũ, nên tốc độ sấy chậm lại. Kết quả trong nghiên cứu này cho thấy, độ ẩm hạt mầm có thể đạt dưới 12% sau 12 giờ sấy với máy sấy bơm nhiệt, đảm bảo độ ẩm an toàn cho quá trình bảo quản hạt mầm.

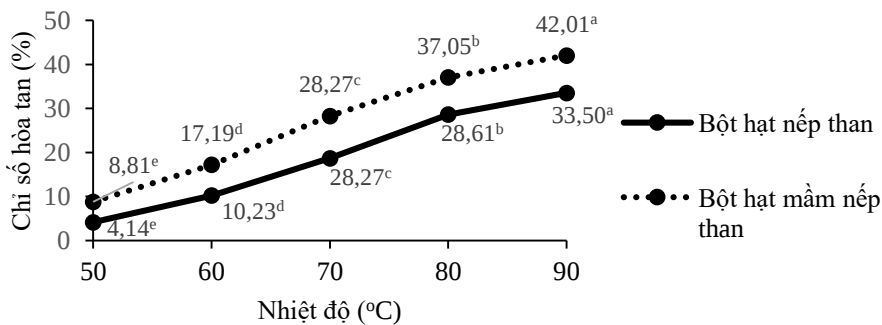


Hình 3. Sự biến đổi độ ẩm của hạt mầm nếp than A Lưới trong quá trình sấy
Các mũ chữ cái khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

3.4. Sự biến đổi chỉ số hòa tan và chỉ số hấp thụ nước của bột hạt mầm nếp than A Lưới theo nhiệt độ

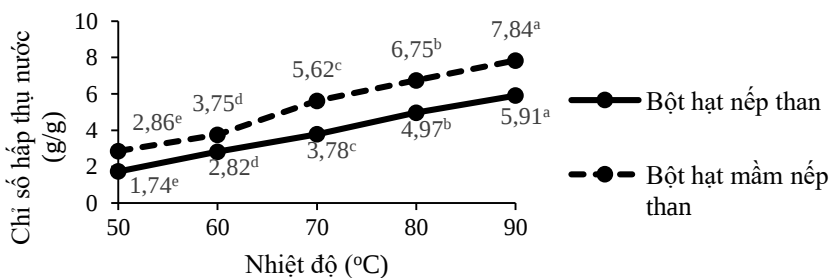
Chỉ số hòa tan (WSI) và chỉ số hấp thụ nước (WAI) của bột hạt chưa nảy mầm (bột nguyên liệu) và bột hạt mầm nếp than A Lưới theo nhiệt độ được thể hiện tương ứng ở hình 4 và hình 5. Từ các đồ thị có thể thấy, bột hạt mầm có WSI và WAI cao hơn bột chưa nảy mầm ở tất cả các nhiệt độ nước. Khi tăng nhiệt độ nước thì WSI và

WAI của cả hai loại bột có xu hướng tăng. Ở nhiệt độ thường, WSI của bột hạt nếp than và bột hạt mầm nếp than lần lượt là 3,35% và 7,28%. Khi tăng nhiệt độ nước từ 50-90°C thì WSI của hai loại bột trên tăng dần tương ứng là 4,14-33,50% và 8,81-42,01%. Tương tự, WAI của bột hạt nếp than và bột hạt mầm nếp than ở nhiệt độ thường lần lượt là 1,05 g/g và 2,19 g/g. Khi nhiệt độ nước tăng từ 50 đến 90°C, WAI của hai loại bột tăng dần, lần lượt từ 4,14% đến 33,50% và từ 8,81% đến 42,01%.



Hình 4. Sự biến đổi chỉ số hòa tan của bột hạt nếp than và bột hạt mầm nếp than A Lưới theo nhiệt độ

Các mũ chữ cái khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).



Hình 5. Sự biến đổi chỉ số hấp thụ nước của bột hạt nếp than và bột hạt mầm nếp than A Lưới theo nhiệt độ

Các mũ chữ cái khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Theo nghiên cứu của Wu và cs. (2013), hình ảnh từ kính hiển vi điện tử quét (SEM) của mẫu bột gạo lứt sau nảy mầm

cho thấy bề mặt tinh bột xuất hiện nhiều lỗ nhỏ và hố lõm, phản ánh sự biến đổi cấu trúc trong quá trình nảy mầm. Sự thay đổi đó có liên quan đến hoạt động của các enzyme

thủy phân, đặc biệt là α -amylase. Enzyme này được kích hoạt nhằm phân giải tinh bột thành các phân tử nhỏ hơn phục vụ cho quá trình phát triển của mầm (Guzmán-Ortiz và cs., 2019). Hoạt động của các enzyme thủy phân tinh bột có thể ăn mòn và nở rộng các lỗ xốp trên bề mặt hạt tinh bột (Sujka và Jamroz, 2007). Do đó, các phân tử nước dễ dàng xâm nhập hơn dẫn đến khả năng hòa tan và giữ nước của tinh bột sau nảy mầm tăng lên. Bên cạnh đó, hoạt động thủy phân của enzyme có thể làm cắt đứt các polysaccharide mạch dài thành các mạch ngắn hơn và đường đơn, qua đó làm tăng vị trí liên kết với các phân tử nước dẫn đến tăng tính hòa tan và tính hấp thụ nước.

Xu hướng gia tăng chỉ số hòa tan trong nước và chỉ số hấp thụ nước của bột từ một số loại hạt sau quá trình nảy mầm đã được ghi nhận trong nhiều nghiên cứu. Cụ thể, Moongngarm và cs. (2014) báo cáo rằng khả năng hấp thụ nước của bột gạo lứt tăng lên đáng kể sau khi nảy mầm so với bột không nảy mầm. Tương tự, Dhillon và cs. (2020) cho thấy quá trình nảy mầm góp phần làm tăng chỉ số hòa tan trong nước và khả năng hấp thụ dầu của bột lúa mì. Ngoài

ra, Siddiqua và cs. (2019) cũng quan sát thấy sự gia tăng chỉ số hấp thụ nước ở bột lúa mì, bột ngô và bột cao lương sau nảy mầm.

3.5. Một số thành phần hóa học của bột hạt mầm nếp than A Lưới

Thành phần hóa học của bột hạt mầm nếp than A Lưới được trình bày ở bảng 1. Hàm lượng ẩm, protein, lipid và carbohydrate của mẫu bột có giá trị lần lượt là 11,47%, 8,93%, 2,43% và 75,47%. Hàm lượng ẩm dưới 12% được xem là mức an toàn giúp kéo dài thời gian bảo quản bột. Hàm lượng protein trong bột hạt mầm nếp than cao hơn so với gạo đen (6,35%) và tương đương so với gạo nếp (8,14%) (Shakri và cs., 2021). Hàm lượng lipid trong bột hạt mầm (2,43%) khá tương đương so với hạt nếp than trong nghiên cứu của Yenrina và cs. (2019) (2,19%). Hàm lượng carbohydrate trong bột hạt mầm khá cao (75,47%). Trong thành phần carbohydrate, tinh bột chiếm tỉ lệ lớn và chủ yếu có nguồn gốc từ nội nhũ. Theo Yenrina và cs. (2019), hàm lượng tinh bột trong hạt nếp than là 71,75%.

Bảng 1. Thành phần hóa học của bột hạt mầm nếp than A Lưới

Thành phần	Hàm lượng
Độ ẩm (%)	11,47
Protein (%)	8,93
Lipid (%)	2,43
Carbohydrate (%)	75,47

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy thời gian ngâm 36 giờ và ủ 36 giờ là thích hợp nhất để gia tăng hàm lượng GABA trong hạt gạo nếp than A Lưới, đạt 30,07 mg/100 g, cao hơn 20 lần so với gạo không nảy mầm; trong khi kéo dài thời gian ủ đến 48 giờ làm hàm lượng GABA giảm. Quá trình sấy ở 50 °C trong 12 giờ giúp giảm độ ẩm hạt mầm xuống dưới 12%, phù hợp cho bảo quản. Bột hạt mầm thu được có chỉ số WSI

(8,81%) và WAI (2,86 g/g) cao hơn đáng kể so với bột từ hạt chưa nảy mầm, cho thấy sự cải thiện về tính chất chức năng. Những kết quả này cho thấy tiềm năng ứng dụng của bột hạt mầm nếp than A Lưới trong phát triển thực phẩm chức năng và sản phẩm giá trị gia tăng.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm nghiên cứu xin chân thành cảm ơn sự tài trợ của Đại học Huế trong đề

tài nghiên cứu khoa học “Đánh giá hoạt tính sinh học và khả năng ứng dụng trong thực phẩm của hạt mầm lúa mạch, nếp ngự Sa Huỳnh tỉnh Quảng Ngãi và nếp than A Lưới tỉnh Thừa Thiên Huế” (Mã số đề tài: DHH2024-02-186).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tài liệu tiếng Việt

Nguyễn Tấn Hùng, Nguyễn Thị Bích Ngọc và Nguyễn Công Hà. (2018). Ảnh hưởng của thời gian ngâm và nảy mầm đến sự thay đổi thành phần acid amin hòa tan và hoạt tính enzyme protease của một số giống lúa ở Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, 54, 164-172.

Nguyễn Hoàng Khang, Nguyễn Diệu Hiền, Lê Nguyễn Đoàn Duy và Nguyễn Công Hà. (2016). Ảnh hưởng của loại hóa chất ngâm và điều kiện nảy mầm đến sự hình thành GABA của giống lúa IR50404 ở qui mô xưởng thực nghiệm. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ, Số chuyên đề: Nông nghiệp* (1), 59-65.

Nguyễn Văn Toàn, Lê Văn Luận, Hồ Đắc Nhân, Tống Thị Quỳnh Anh. (2019). Nghiên cứu ảnh hưởng một số yếu tố trong giai đoạn ngâm và ủ đến khả năng sinh tổng hợp gamma aminobutyric acid của giống lúa tím thảo dược Vĩnh Hòa (VH1). *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nông nghiệp Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế*, 3(2), 1285-1294.

TCVN 4069:2009 - Phương pháp xác định độ ẩm.

TCVN 9936:2013 - Xác định hàm lượng nitơ bằng phương pháp Kjeldahl.

TCVN 10730:2015 - Phương pháp chiết Soxhlet.

KNH/QTTN/TP-96. Phương pháp xác định hàm lượng carbohydrate. Trung tâm Kiểm nghiệm thuốc, mỹ phẩm, thực phẩm, thành phố Huế.

2. Tài liệu tiếng nước ngoài

Ali, M. M., & Hashim, N. (2024). Exploring nutritional composition, volatile compounds, health benefits, emerging processing technologies, and potential food products of glutinous rice: a review. *Rice Science*, 31(3), 251-268.

Bareke, T. (2018). Biology of seed development and germination physiology. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 8(4), 336-346.

Dhillon, B., Choudhary, G., & Sodhi, N. S. (2020). A study on physicochemical, antioxidant and microbial properties of germinated wheat flour and its utilization in breads. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 2800-2808.

do Nascimento, L. Á., Abhilasha, A., Singh, J., Elias, M. C., & Colussi, R. (2022). Rice germination and its impact on technological and nutritional properties: A review. *Rice Science*, 29(3), 201-215.

Feng, H., Nemzer, B., Devries, J. W., & Ding, J. (Eds.). (2024). *Sprouted grains: Nutritional value, production, and applications*. Elsevier.

Guzmán-Ortiz, F. A., Castro-Rosas, J., Gómez-Aldapa, C. A., Mora-Escobedo, R., Rojas-León, A., Rodríguez-Marín, M. L., Falfán-Cortés R. N., & Román-Gutiérrez, A. D. (2019). Enzyme activity during germination of different cereals: A review. *Food Reviews International*, 35(3), 177-200.

Hussain, S. Z., Jabeen, R., Naseer, B., & Shikari, A. B. (2020). Effect of soaking and germination conditions on γ -aminobutyric acid and gene expression in germinated brown rice. *Food Biotechnology*, 34(2), 132-150.

Jalil, S. U., Khan, M. I. R., & Ansari, M. I. (2019). Role of GABA transaminase in the regulation of development and senescence in *Arabidopsis thaliana*. *Current Plant Biology*, 19, 100119.

Karladee, D., & Suriyong, S. (2012). γ -Aminobutyric acid (GABA) content in different varieties of brown rice during germination. *Science Asia*, 38(1), 13-17.

Khatun, L., Brahma, R., & Ray, S. (2023). Nutritional and functional potentials of germinated rice: A systematic review. *Food Science and Applied Biotechnology*, 6(2), 263-281.

Konwachara, T., & Ahromrit, A. (2014). Effect of cooking on functional properties of germinated black glutinous rice (KKU-ULR012). *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 36(3), 283-290.

Lapčiková, B., Lapčík, L., Valenta, T., Majar, P., & Ondroušková, K. (2021). Effect of the rice flour particle size and variety type on water holding capacity and water diffusivity in aqueous dispersions. *LWT*, 142, 111082.

Maisont, S., & Narkrugsa, W. (2010). The effect of germination on GABA content, chemical

- composition, total phenolics content and antioxidant capacity of Thai waxy paddy rice. *Agriculture and Natural Resources*, 44(5), 912-923.
- Marti, A., Cardone, G., & Pagani, M. A. (2020). Sprouted cereal grains and products. *Innovative processing technologies for healthy grains*, 113-141.
- Moongngarm, A., Moontree, T., Deedpinrum, P., & Padtong, K. (2014). Functional properties of brown rice flour as affected by germination. *APCBEE procedia*, 8, 41-46.
- Mustofa, A., Anam, C., & Praseptiangga, D. (2024). A comparative study on physicochemical properties of rice and starch of white rice, black rice and black glutinous rice. *Food Research*, 8(2), 55-65.
- Ngo, D. H., & Vo, T. S. (2019). An updated review on pharmaceutical properties of gamma-aminobutyric acid. *Molecules*, 24(15), 2678.
- Phan, V., Tran, C. H., & Pham, T. H. (2021). The study of soaking and germination times to improve the nutritional quality of white and black glutinous rice. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 27(03), APST-27.
- Rahim, M. A., Umar, M., Habib, A., Imran, M., Khalid, W., Lima, C. M. G., ... & Emran, T. B. (2022). Photochemistry, functional properties, food applications, and health prospective of black rice. *Journal of Chemistry*, 2022(1), 2755084.
- Yenrina, R., Anggraini, T., & Chania, N. E. (2019). The effects of various way of processing black glutinous rice (*Oryza sativa* L. Processing Var Glutinosa) on digestibility and energy value of the products. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 327(1), 012013.
- Shakri, A. A., Kasim, K. F., & Rukunudin, I. B. (2021). Chemical compositions and physical properties of selected Malaysian rice: A review. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 765(1), 012024.
- Siddiqua, A., Ali, M. S., & Ahmed, S. (2019). Functional properties of germinated and non-germinated cereals: A comparative study. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 54(4), 383-390.
- Sujka, M., & Jamroz, J. (2007). Starch granule porosity and its changes by means of amylolysis. *International agrophysics*, 21(1), 107-113.
- Wu, F., Chen, H., Yang, N., Wang, J., Duan, X., Jin, Z., & Xu, X. (2013). Effect of germination time on physicochemical properties of brown rice flour and starch from different rice cultivars. *Journal of Cereal Science*, 58(2), 263-271.
- Zhang, Q., Xiang, J., Zhang, L., Zhu, X., Evers, J., van der Werf, W., & Duan, L. (2014). Optimizing soaking and germination conditions to improve gamma-aminobutyric acid content in japonica and indica germinated brown rice. *Journal of Functional Foods*, 10, 283-291.