

ẢNH HƯỞNG CỦA TỈ LỆ PHỐI CHẾ VÀ ĐIỀU KIỆN LÊN MEN ĐẾN KHẢ NĂNG CHỐNG OXY HÓA CỦA SỮA CHUA LÊN MEN TỪ HỖN HỢP DỊCH ĐẬU NÀNH VÀ ĐẬU XANH NẤY MẦM

Trần Minh Phúc^{1,*}, Nguyễn Lê Yến Nhi¹, Nguyễn Trung Trực¹,
Nguyễn Ngọc Thanh², Huỳnh Xuân Phong²

¹ Khoa Sinh hóa - Thực phẩm, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

² Viện Công nghệ Sinh học và Thực phẩm, Đại học Cần Thơ

*Email: phuctm@volute.edu.vn

TÓM TẮT

Sữa chua lên men từ dịch chiết đậu nảy mầm đang thu hút sự quan tâm nhờ giá trị dinh dưỡng cao và tiềm năng chống oxy hóa cao. Nghiên cứu được thực hiện nhằm xác định các thông số kỹ thuật phù hợp giúp nâng cao hoạt tính chống oxy hóa của sữa chua lên men từ hỗn hợp dịch đậu nành và đậu xanh nảy mầm. Nghiên cứu tiến hành khảo sát ảnh hưởng của tỉ lệ phối chế dịch sữa đậu nành và đậu xanh với các tỉ lệ 1: 0; 7: 3; 6: 4; 5: 5; 4: 6; 3: 7; 0: 1. Đồng thời khảo sát điều kiện ủ lên men gồm nhiệt độ (35, 40, 45°C) kết hợp thời gian (5, 7, 9, 11 giờ) với các chỉ tiêu theo dõi như: Hàm lượng polyphenol tổng (TPC), flavonoid tổng (TFC), khả năng bắt gốc tự do DPPH, ABTS^{•+} và khả năng ức chế một nửa (IC₅₀). Kết quả cho thấy, dịch phối chế đậu nành: Đậu xanh theo tỉ lệ 6: 4, kết hợp với điều kiện lên men ở 40°C trong 7 giờ, tạo ra sản phẩm có hoạt tính chống oxy hóa cao nhất. Nghiên cứu cung cấp thông tin khoa học, làm cơ sở để thực hiện quá trình tối ưu hóa quy trình sản xuất sữa chua từ dịch trích đậu nành và đậu xanh nảy mầm, góp phần đa dạng hóa các dòng sữa chua có hoạt tính chức năng, phù hợp nhu cầu hiện nay.

Từ khóa: Axit lactic, chống oxy hóa, nảy mầm, sữa chua thực vật.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sữa chua là sản phẩm lên men lactic truyền thống có giá trị dinh dưỡng và hoạt tính sinh học cao, được chứng minh mang lại nhiều lợi ích cho sức khỏe con người [1]. Quá trình lên men bởi vi khuẩn lactic (chủ yếu *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* và *Streptococcus thermophilus*) không chỉ cải thiện khả năng tiêu hóa lactose mà còn tạo ra các peptide có hoạt tính sinh học, axit hữu cơ và exopolysaccharide có lợi cho hệ vi sinh đường ruột [2]. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng, tiêu thụ sữa chua thường xuyên giúp cân bằng hệ vi sinh vật đường ruột, tăng cường hệ miễn dịch và góp phần giảm nguy cơ các bệnh mạn tính như béo phì, đái tháo đường type 2 và rối loạn tiêu hóa [3]. Gần đây, xu hướng phát triển sữa chua có nguồn gốc thực vật ngày càng gia tăng nhằm đáp ứng nhu cầu của người tiêu dùng không dung nạp lactose, ăn chay hoặc hướng đến chế độ ăn bền vững [4].

Trong số các nguyên liệu thực vật, đậu nảy mầm được xem là nguồn nguyên liệu tiềm năng nhờ sự biến đổi sinh hóa mạnh mẽ trong quá trình nảy mầm. Hoạt động của các enzyme nội sinh như amylase, protease và phytase giúp thủy phân các hợp chất dự trữ, làm gia tăng hàm lượng đường khử, peptide, axit amin tự do và đặc biệt là các hợp chất phenolic. Quá trình này đồng thời làm giảm các yếu tố kháng dinh dưỡng như axit phytic và oligosaccharide gây đầy hơi, từ đó cải thiện giá trị về hoạt tính sinh học và khả năng hấp thu của sản phẩm [5]. Đáng chú ý, nhiều nghiên cứu đã chứng minh rằng, đậu nảy mầm có hoạt tính chống oxy hóa cao hơn đáng kể so với hạt khô ban đầu, thể hiện qua khả năng bắt gốc tự do (DPPH, ABTS^{•+}) và hàm lượng polyphenol tổng tăng lên đáng kể [6]. Điều này có ý nghĩa quan trọng trong việc phòng ngừa stress oxy hóa, một trong những nguyên nhân chính gây ra lão hóa và các bệnh lý mạn tính.

Mặc dù tiềm năng của đậu nẩy mầm là rất lớn, việc ứng dụng nguyên liệu này trong sản xuất các sản phẩm lên men, đặc biệt là sữa chua từ nguồn nguyên liệu thực vật vẫn chưa được khai thác đầy đủ. Quá trình lên men có thể tiếp tục làm biến đổi các hợp chất sinh học, bao gồm việc giải phóng polyphenol liên kết, hình thành các chất chuyển hóa mới và tăng cường hoạt tính chống oxy hóa của sản phẩm cuối [7]. Một số nghiên cứu gần đây liên quan đến sữa chua thực vật như: Sữa chua đậu nành từ chủng nấm kefir [8], sữa chua đậu nành bổ sung bí đỏ và mứt đông [9], phân lập *Lactobacillus* sữa chua đậu xanh [10]... Bên cạnh các yếu tố công nghệ, trong quá trình lên men có ảnh hưởng đến hoạt tính sinh học của sữa chua thực vật, nhưng ảnh hưởng của tỉ lệ phối chế đậu nành và đậu xanh nẩy mầm cùng điều kiện lên men đến khả năng chống oxy hóa của sản phẩm vẫn chưa được nghiên cứu đầy đủ. Do đó, việc làm rõ các yếu tố này là cần thiết để hoàn thiện cơ sở khoa học cho quá trình phát triển sản phẩm.

Xuất phát từ những cơ sở trên, nghiên cứu phát triển sữa chua từ dịch chiết đậu nẩy mầm (đậu nành kết hợp đậu xanh) nhằm tạo sản phẩm có hoạt tính chống oxy hóa cao là hướng đi có ý nghĩa khoa học và thực tiễn. Nghiên cứu không chỉ góp phần làm giảm mùi hăng của đậu nành, mà còn phát triển sản phẩm mới có hoạt tính sinh học cao, mở ra tiềm năng ứng dụng đậu nẩy mầm trong phát triển các sản phẩm thực phẩm chức năng, đáp ứng xu hướng tiêu dùng hiện đại hướng đến sức khỏe và bền vững.

2. NGUYÊN LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên liệu

Đậu nành và đậu xanh (túi 1 kg), đường trắng Biên Hòa (túi 1 kg) được mua tại siêu thị, gelatin (độ bloom 250, dạng bột, Đức). Chủng giống vi khuẩn axit lactic thương mại (YC381) sản xuất tại Đan Mạch gồm *Lactobacillus bulgaricus* và *Streptococcus thermophilus* có mật số 10^{11} cfu/mL, nhiệt độ ủ khuyến cáo 35 - 45°C.

2.2. Quy trình chuẩn bị mẫu

Quy trình nghiên cứu sữa chua từ dịch chiết đậu nẩy mầm được thực hiện theo hình 1. Đậu nguyên liệu (đậu nành và đậu xanh) được loại các hạt không đủ tiêu chuẩn chế biến (hư, sâu, mốc...), rửa sạch và tiến hành nẩy mầm. Quá trình nẩy mầm của hạt được thực hiện trong điều

kiện kiểm soát với nhiệt độ môi trường duy trì ở khoảng 28 - 30°C, độ ẩm tương đối của không khí đạt 60 - 65%. Trong quá trình nẩy mầm, hạt được phun nước tưới tự động theo chu kỳ được cài đặt sẵn với lưu lượng 0,25 L/phút, mỗi lần tưới kéo dài 2 phút và lặp lại sau mỗi 3 giờ. Thời gian nẩy mầm của đậu nành là 36 giờ [11] và 24 giờ đối với đậu xanh [12].

2.3. Bố trí thí nghiệm

Nội dung 1: Phân tích khả năng chống oxy hóa của nguyên liệu.

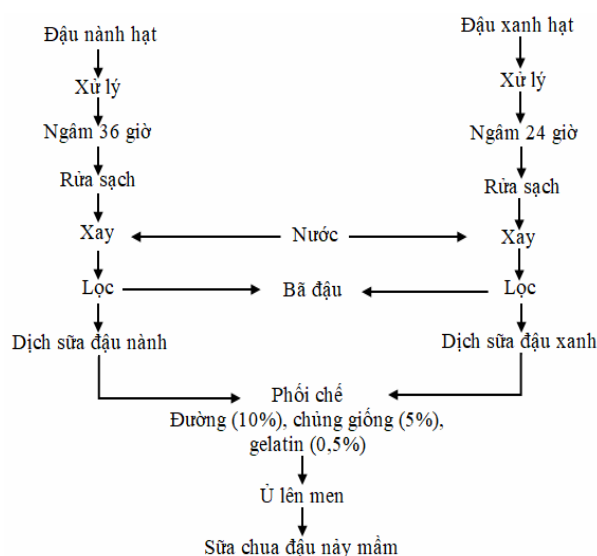
Đậu hạt được phân tích khả năng chống oxy hóa của mẫu trước và sau nẩy mầm nhằm đánh giá khả năng chống oxy hóa của hạt. Đậu hạt được nẩy mầm theo quy trình ở hình 1.

Nội dung 2: Khảo sát ảnh hưởng tỉ lệ phối chế giữa dịch sữa đậu nành và đậu xanh đến khả năng chống oxy hóa của sữa chua từ dịch chiết đậu nẩy mầm.

Sau khi kết thúc quá trình nẩy mầm, hạt được thu nhận, rửa sạch và nghiền với nước theo tỷ lệ đậu: nước là 1: 5. Quá trình xay được thực hiện lặp lại 3 lần nhằm tăng hiệu suất trích ly, sau đó hỗn hợp được lọc để thu dịch sữa. Dịch sữa đậu nành và đậu xanh được phối trộn theo các tỷ lệ khảo sát khác nhau (1: 0; 7: 3; 6: 4; 5: 5; 4: 6; 3: 7; 0: 1), tiếp theo hỗn hợp dịch chiết đậu được gia nhiệt sôi trong 10 phút. Sau đó, dịch được làm nguội về khoảng $35 \pm 2^\circ\text{C}$, tiếp tục bổ sung các thành phần gồm: Chủng giống vi khuẩn axit lactic (5%), đường saccharose (10%) và gelatin (0,5%). Hỗn hợp sau khi phối trộn được ủ ở 35°C trong 8 giờ lên men, thu nhận sản phẩm sữa chua từ dịch chiết đậu nẩy mầm và tiến hành các phân tích chỉ tiêu theo dõi.

Nội dung 3: Khảo sát ảnh hưởng nhiệt độ và thời gian ủ đến khả năng chống oxy hóa của sữa chua từ dịch chiết đậu nẩy mầm.

Sau nẩy mầm, đậu được thu hoạch và thực hiện quy trình nghiền, xay, trích ly thành dịch sữa giống như điều kiện thực hiện ở nội dung 2. Tỉ lệ phối chế tốt nhất được chọn (nội dung 2) sẽ được gia nhiệt và bổ sung các thành phần chủng giống vi khuẩn axit lactic, đường và gelatin như ở nội dung 2. Hỗn hợp sau phối trộn được ủ lên men ở điều kiện khảo sát gồm nhiệt độ (35, 40, 45°C) với thời gian (5, 7, 9, 11 giờ). Từng nghiệm thức được thu nhận và phân tích các chỉ tiêu theo dõi.



Hình 1. Quy trình nghiên cứu sữa chua từ dịch chiết đậu nành mầm

2.4. Phương pháp phân tích

Tổng polyphenol (TPC) được đo bằng phương pháp Folin-Ciocalteu và định lượng bằng axit gallic tương đương/g khối lượng khô (mg GAE/g) [13]. Tổng flavonoid (TFC) được xác định bằng phương pháp so màu nhôm clorua và định lượng bằng mg quercetin tương đương/g khối lượng khô (mg QE/g) [14]. Khả năng bắt gốc tự do DPPH assay được xác định dựa trên sự giảm độ hấp thụ tại $\lambda = 517$ nm khi gốc DPPH• bị khử thành DPPH-H bởi chất kháng oxy hóa [15]. ABTS (2,2-azinobis-3-ethyl benzothiazoline-6-sulfonic axit) khi phản ứng với một chất oxy hóa mạnh như $K_2S_2O_8$ sẽ mất một điện tử và tạo ra gốc tự do $ABTS^{+\bullet}$. Chính điện tử độc thân trên gốc tự do đã tạo ra hệ liên hợp điện tử và làm cho $ABTS^{+\bullet}$

chuyển màu xanh, có độ hấp thụ cực đại ở bước sóng 734 nm [16]. IC_{50} được xác định là tổng chất chống oxy hóa trong chiết xuất (%) cần thiết để loại bỏ 50% gốc tự do DPPH so với ban đầu và được xác định từ biểu đồ tương quan giữa khả năng loại bỏ gốc tự do với đây nồng độ của dịch chiết mẫu [17].

2.5. Phân tích dữ liệu

Các số liệu được trình bày dưới dạng giá trị trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn ($\pm SD$), ghi nhận được từ ba lần lặp lại. Sự khác biệt được xem là có ý nghĩa thống kê khi $p < 0,05$. Sai khác giữa các nghiệm thức được đánh giá bằng phân tích phương sai (ANOVA), tiếp theo là phép thử LSD. Số liệu được xử lý bằng phần mềm Statgraphics và đồ thị được vẽ bằng phần mềm GraphPad Prism (GraphPad Software, LLC, Mỹ). Kết quả nghiên cứu được tính trên căn bản khô.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân tích khả năng chống oxy hóa của nguyên liệu

Việc đánh giá khả năng chống oxy hóa của nguyên liệu trước và sau nảy mầm là cần thiết để xác định tác động của quá trình này đến giá trị sinh học của hạt. Nảy mầm kích hoạt enzyme nội sinh, thúc đẩy phân giải đại phân tử và giải phóng các hợp chất chống oxy hóa, làm thay đổi đáng kể hoạt tính khử gốc tự do [18]. Do đó, so sánh khả năng chống oxy hóa trước và sau nảy mầm giúp cung cấp cơ sở khoa học cho sự thay đổi khả năng chống oxy hóa của nguyên liệu, ứng dụng vào phát triển sản phẩm. Kết quả phân tích được tổng hợp và trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Sự thay đổi hoạt tính sinh học của đậu nguyên liệu trước và sau nảy mầm

Nguyên liệu	Chỉ tiêu theo dõi				
	TPC (mg GAE/g)	TFC (mg QE/g)	DPPH (%)	ABTS ^{•+} (%)	IC ₅₀ (mg/mL)
Đậu nành hạt	1,84 $\pm$ 0,07 ^c	0,65 $\pm$ 0,02 ^c	22,60 $\pm$ 1,52 ^c	17,84 $\pm$ 1,58 ^c	38,13 $\pm$ 1,98 ^b
Đậu xanh hạt	0,99 $\pm$ 0,04 ^d	0,32 $\pm$ 0,01 ^d	16,56 $\pm$ 0,46 ^d	12,26 $\pm$ 0,74 ^d	47,65 $\pm$ 2,79 ^a
Đậu nành nảy mầm	8,54 $\pm$ 0,09 ^a	4,12 $\pm$ 0,73 ^a	57,64 $\pm$ 1,48 ^a	45,93 $\pm$ 1,59 ^a	15,50 $\pm$ 0,98 ^d
Đậu xanh nảy xanh	2,97 $\pm$ 0,01 ^b	1,45 $\pm$ 0,06 ^b	39,63 $\pm$ 1,65 ^b	36,51 $\pm$ 1,92 ^b	20,84 $\pm$ 0,56 ^c

Ghi chú: Kết quả được thể hiện dưới dạng trung bình 3 lần lặp lại $\pm$ độ lệch chuẩn.

Kết quả phân tích cho thấy, quá trình nảy mầm đã làm gia tăng rõ rệt khả năng chống oxy hóa của cả đậu nành và đậu xanh, thể hiện đồng thời qua sự tăng mạnh của TPC và TFC, dẫn đến sự cải thiện đáng kể khả năng bắt gốc tự do

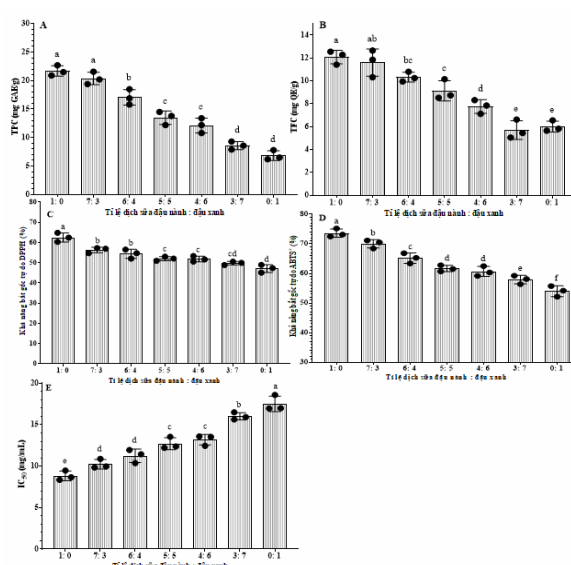
DPPH và ABTS^{•+}, đồng thời làm giảm khả năng ức chế một nửa (IC_{50}). Cụ thể, đậu nành nảy mầm có mức tăng vượt trội so với đậu nành hạt, với hàm lượng polyphenol và flavonoid tăng mạnh, dẫn đến khả năng bắt gốc tự do DPPH và ABTS^{•+}

cao nhất và giá trị IC_{50} thấp nhất, trong khi đậu xanh nảy mầm cũng ghi nhận xu hướng tương tự nhưng với mức độ thấp hơn so với đậu nành nảy mầm. Xu hướng này phù hợp với các nghiên cứu gần đây cho thấy, quá trình nảy mầm làm tăng đáng kể hàm lượng hợp chất phenolic, flavonoid và hoạt tính chống oxy hóa ở đậu nành cũng như các loại hạt họ đậu [19, 20]. Khi hạt bắt đầu nảy mầm, các enzyme thủy phân như α -amylase, protease và phytase được hoạt hóa mạnh nhằm huy động nguồn chất dự trữ phục vụ sự phát triển của phôi. Quá trình này không chỉ tạo ra các đường khử và axit amin tự do mà còn làm phá vỡ cấu trúc thành tế bào, giải phóng các hợp chất phenolic vốn tồn tại ở dạng liên kết với polysaccharide hoặc protein [21]. Đồng thời, sự gia tăng hàm lượng isoflavone dạng aglycone trong đậu nành nảy mầm cũng góp phần nâng cao đáng kể khả năng chống oxy hóa [22]. Ngoài ra, các nghiên cứu gần đây còn ghi nhận mối tương quan chặt chẽ giữa TPC, TFC và khả năng bắt gốc tự do (DPPH, $ABTS^{*+}$), với hệ số tương quan cao, đồng thời cho thấy quá trình nảy mầm còn tạo ra các peptide có hoạt tính sinh học góp phần tăng cường khả năng khử gốc tự do [23].

3.2. Ảnh hưởng tỉ lệ phối chế giữa dịch sữa đậu nành và đậu xanh đến hoạt tính sinh học của sữa chua lên men từ dịch chiết đậu nảy mầm

Nảy mầm là một trong những phương pháp giúp gia tăng hoạt tính sinh học của hạt ngũ cốc, đặc biệt là của họ đậu. Kết quả đánh giá hoạt tính sinh học của sữa chua từ đậu nảy mầm với sự thay đổi tỉ lệ phối trộn giữa dịch sữa đậu nành và đậu xanh sau nảy mầm được thể hiện ở hình 2.

Hàm lượng polyphenol của sữa chua từ dịch chiết đậu nảy mầm được thể hiện ở hình 2.A cho thấy, tỉ lệ phối trộn dịch sữa đậu nành : đậu xanh ảnh hưởng mạnh đến TPC sau 8 giờ lên men. Cụ thể, TPC đạt giá trị cao nhất ở hai nghiệm thức 1: 0 và 7: 3 (khoảng 20,40 - 21,70 mg GAE/g) và không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Tuy nhiên, khi tăng dần tỉ lệ đậu xanh (từ 6: 4 - 0: 1), TPC có xu hướng giảm đáng kể và đạt thấp nhất ở nghiệm thức 0: 1 (6,83 mg GAE/g), cho thấy xu hướng suy giảm polyphenol khi giảm tỉ lệ đậu nành trong phối trộn. Sự khác biệt này có thể là do sự khác nhau về thành phần hóa học của nguyên liệu ban đầu (Bảng 1).



Hình 2. Ảnh hưởng tỉ lệ phối chế giữa dịch sữa đậu nành và đậu xanh đến khả năng chống oxy hóa của sữa chua lên men từ dịch chiết đậu nảy mầm. A: TPC; B: TFC; C: Khả năng bắt gốc tự do DPPH; D: $ABTS^{*+}$; E: Khả năng ức chế một nửa IC_{50}

Ghi chú: ●: Độ phân tán nghiệm thức; I: Trung bình độ lệch chuẩn; các chữ cái khác nhau trong cùng một đồ thị thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Hàm lượng flavonoid tổng (Hình 2.B) cho thấy, TFC bị ảnh hưởng bởi tỉ lệ phối chế dịch sữa đậu nành : đậu xanh, với xu hướng giảm dần khi tăng tỉ lệ đậu xanh. Cụ thể, mẫu 1: 0 đạt TFC cao nhất (12,08 mg QE/g), không có sự khác biệt ý nghĩa so với tỉ lệ 7: 3 (11,61 mg QE/g), nhưng khác biệt ý nghĩa thống kê so với các tỉ lệ còn lại ($p < 0,05$). Khi tăng tỉ lệ phối chế đậu xanh từ 6: 4 - 5: 5 và 4: 6, TFC có xu hướng giảm và khác biệt ý nghĩa thống kê với giá trị lần lượt là 10,33 - 9,14 và 7,77 mg QE/g. TFC đạt hàm lượng thấp nhất ở tỉ lệ phối chế 3: 7 và 0: 1, với hàm lượng tương ứng 5,71 và 6,0 mg QE/g và không có sự khác biệt ý nghĩa thống kê giữa 2 tỉ lệ này ($p > 0,05$). Nguyên nhân của sự thay đổi này có thể là do trong đậu nành nảy mầm giàu hợp chất isoflavone (genistein, daidzein) thuộc nhóm flavonoid có hoạt tính sinh học cao [24]. Nhiều nghiên cứu chứng minh rằng, quá trình lên men lactic tạo điều kiện thuận lợi cho việc giải phóng và phân hủy các chất khác nhau trong đó có các hợp chất thuộc nhóm flavonoid [25].

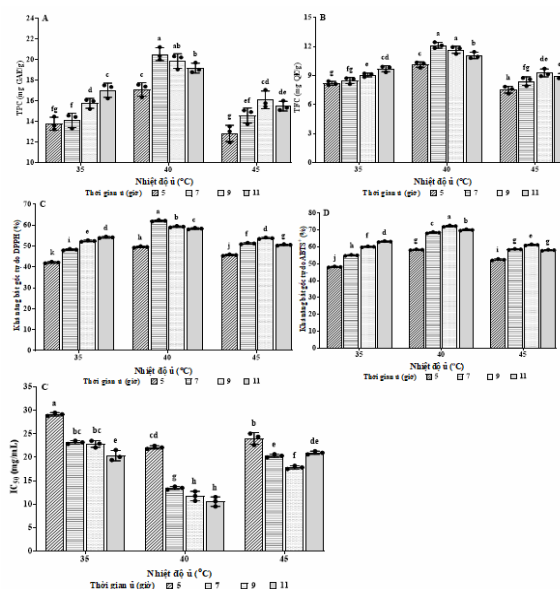
Khả năng bắt gốc tự do DPPH (Hình 2.C) và ABTS⁺ (Hình 2.D) đạt cao nhất ở mẫu 1: 0 và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các tỉ lệ còn lại ($p < 0,05$). Trong khi đó, giá trị IC₅₀ (Hình 2.E) biến thiên theo chiều ngược lại, thấp nhất ở tỉ lệ 1: 0 và tăng dần đạt cao nhất ở tỉ lệ 0: 1. Mỗi quan hệ nghịch giữa DPPH và ABTS với IC₅₀ khẳng định sự suy giảm khả năng khử gốc tự do khi tăng dần tỉ lệ phối chế dịch sữa đậu xanh. Trong đậu nành nảy mầm, hàm lượng isoflavone tổng và đặc biệt là các tiền chất glycoside thường cao hơn đậu xanh. Trong quá trình lên men, hệ enzyme β -glucosidase của vi khuẩn lactic xúc tác quá trình thủy phân các liên kết glycosidic, chuyển các isoflavone dạng glycoside thành dạng aglycone như genistein và daidzein có hoạt tính chống oxy hóa mạnh hơn. Quá trình này tăng cường hoạt tính sinh học của các hợp chất phenolic, làm tăng đáng kể khả năng chống oxy hóa của chúng để trung hòa các gốc tự do như DPPH và ABTS [26, 27].

3.3. Ảnh hưởng nhiệt độ và thời gian ủ đến khả năng chống oxy hóa của sữa chua từ dịch chiết đậu nảy mầm

Hoạt tính sinh học là một trong những thông số khẳng định khả năng chống oxy hóa của sữa chua từ dịch chiết đậu nảy mầm. Quá trình lên men có thể làm thay đổi hàm lượng polyphenol và khả năng chống oxy hóa được thể hiện ở hình 3.

Nhiệt độ và thời gian ủ lên men có tác động đến sự thay đổi hàm lượng polyphenol (Hình 3.A) của sữa chua từ dịch chiết đậu nảy mầm. Ở nhiệt độ ủ 35°C, TPC tăng dần từ khoảng 13,78 - 17,03 mg GAE/g, tương ứng với thời gian ủ kéo dài từ 5 - 11 giờ. Tuy nhiên, mức tăng ở 35°C còn hạn chế, có thể nhiệt độ này chưa thật sự phù hợp với sự phát triển của chủng vi khuẩn giống. Tuy nhiên, ở 40°C, TPC đạt cực đại (20,53 mg GAE/g) tại 7 giờ và giảm nhẹ khi kéo dài đến 9 - 11 giờ. Kết quả này cho thấy, 40°C là nhiệt độ phù hợp cho vi khuẩn axit lactic hoạt động, sản sinh enzyme và chuyển hóa sinh học được tăng cường, thúc đẩy chuyển đổi isoflavone dạng glycoside sang aglycone và giải phóng các hợp chất phenolic tự do có hoạt tính chống oxy hóa cao. Ngược lại, khi tiếp tục tăng nhiệt độ ủ lên 45°C, TPC có xu hướng giảm đáng kể so với hai khoảng nhiệt độ ủ trước đó. Nguyên nhân là do

quá trình lên men lactic được chứng minh là làm tăng TPC thông qua thủy phân liên kết glycosidic và tái cấu trúc hợp chất phenolic [28], nhưng đồng thời cũng có thể gây suy giảm khi điều kiện lên men vượt ngưỡng tối ưu [29].



Hình 3. Ảnh hưởng nhiệt độ và thời gian ủ đến khả năng chống oxy hóa của sữa chua từ dịch chiết đậu nảy mầm. A: TPC; B: TFC; C: Khả năng bắt gốc tự do DPPH; D: ABTS⁺; E: Khả năng ức chế một nửa IC₅₀

Ghi chú: ●: Độ phân tán nghiệm thức; I: Trung bình độ lệch chuẩn; các chữ cái khác nhau trong cùng một đồ thị thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Sự biến đổi hàm lượng flavonoid tổng (Hình 3.B) trong sữa chua từ đậu nành nảy mầm là kết quả của sự tác động đồng thời của nhiệt độ và thời gian lên men. TFC tăng từ 8,2 - 9,71 mg QE/g trong suốt 11 giờ lên men ở 35°C. Tuy nhiên, hàm lượng flavonoid tích lũy chưa cao có thể là do hoạt lực của hệ enzyme từ vi khuẩn axit lactic chuyển hóa chưa cao. Ngược lại, nếu nhiệt độ ủ lên men tăng lên 40°C thì quá trình chuyển hóa sinh học diễn ra mạnh mẽ nhất dẫn đến tích lũy TFC cao nhất và đạt đỉnh (12,14 mg QE/g) tại thời điểm 7 giờ lên men và không có sự khác biệt ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$) so với 9 giờ ủ (11,67 mg QE/g), nhưng khác biệt ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$) so với tất cả các nghiệm thức còn lại. Nếu tiếp tục tăng nhiệt độ ủ lên 45°C, TFC xu hướng giảm hơn so nhiệt độ ủ 35 và 40°C. Tuy nhiên,

TFC vẫn giữ xu hướng tăng từ 5 - 9 giờ và giảm sau 9 giờ ủ lên men. Kết quả nghiên cứu này cho thấy, nhiệt độ ủ không chỉ ảnh hưởng đến TPC mà ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng hoạt động của vi khuẩn axit lactic dẫn đến suy giảm hoạt động của enzyme và làm ảnh hưởng đến hàm lượng các chất có hoạt tính sinh học. Nghiên cứu của Yannuarsita và cs (2024) [28] khẳng định, nhiệt độ ủ lên men tối ưu cho sản phẩm sữa chua là từ 39 - 43°C. Tại điều kiện này, vi khuẩn axit lactic phát triển tối ưu, sản sinh enzyme tốt nhất góp phần nâng cao hàm lượng các chất chống oxy hóa trong đó có TFC.

Khả năng chống oxy hóa của sữa chua từ đậu nây mầm, đánh giá qua khả năng bắt gốc tự do DPPH, ABTS^{•+} và IC₅₀, chịu ảnh hưởng rõ rệt bởi tương tác giữa nhiệt độ và thời gian lên men. Kết quả ở hình 3.C, 3.D và 3.E cho thấy, xu hướng tổng thể của khả năng bắt gốc tự do DPPH và ABTS^{•+} đều tăng theo thời gian ủ từ 5 - 7 và 9 giờ, sau đó có xu hướng giảm nhẹ đến 11 giờ, trong khi IC₅₀ thay đổi theo chiều ngược lại. Ở 35°C, khả năng bắt gốc tự do tăng dần (DPPH: 42,15 - 54,20%; ABTS^{•+}: 48,22 - 63,23%) và IC₅₀ giảm từ 29,16 xuống 20,36 mg/mL khi kéo dài thời gian ủ, phản ánh sự giải phóng dần các hợp chất thuộc nhóm TPC, TFC từ dạng liên kết dưới tác động của enzyme sinh ra từ vi khuẩn axit lactic. Tuy nhiên, hiệu quả bắt gốc tự do chưa cao so với nhiệt độ tại 40°C. Ở nhiệt độ 40°C, cả DPPH (62,15%) và ABTS^{•+} (72,40%) đạt cực đại ở khoảng thời gian ủ lên men từ 7 - 9 giờ, đồng thời IC₅₀ đạt giá trị thấp (11,81 mg/mL) ở giai đoạn này. Nhưng khi kéo dài thời gian ủ lên men đến 11 giờ, khả năng bắt gốc tự do DPPH và ABTS^{•+} đều giảm nhẹ và IC₅₀ có xu hướng tăng lên. Ở 45°C, mặc dù vẫn ghi nhận xu hướng tăng khả năng bắt gốc tự do đến 9 giờ (DPPH: 45,70 - 53,80%; ABTS^{•+}: 52,50 - 61,27%) và giảm IC₅₀ (24,02 - 17,85 mg/mL), nhưng giá trị thực nghiệm thấp hơn đáng kể so với 40°C. Gjorgievski và cs (2014) [29] đã nghiên cứu quá trình lên men sữa chua bởi các chủng vi khuẩn axit lactic khác nhau có thể trung hòa hơn 54% gốc tự do. Kết quả nghiên cứu của Taşkın và Bağdatlıoğlu (2020) [30] cho rằng, khả năng chống oxy hóa của sữa chua được cải thiện trong quá trình lên men axit lactic thông thường, với hàm lượng phenolic và hoạt động loại bỏ gốc

DPPH cao hơn so với sữa chưa lên men; Sarıtaş và cs (2024) [31] khẳng định, thời gian lên men dài hơn có thể tăng cường tổng hàm lượng phenolic và tổng hàm lượng flavonoid trong sữa chua, do đó làm tăng khả năng chống oxy hóa và khả năng loại bỏ các gốc tự do, góp phần cải thiện lợi ích sức khỏe.

3.4. Mối tương quan giữa các thành phần chất chống oxy hóa và khả năng bắt gốc tự do

Ma trận tương quan (Hình 4) cho thấy mối liên hệ chặt chẽ và nhất quán giữa thành phần hợp chất sinh học và hoạt tính chống oxy hóa của sữa chua từ dịch chiết đậu nây mầm, trong đó TPC và TFC tương quan rất mạnh ($r = 0,99$), phản ánh flavonoid là thành phần chủ đạo trong tổng polyphenol và cùng gia tăng mạnh trong quá trình nây mầm. Đồng thời, cả TPC và TFC đều có tương quan dương cao với khả năng bắt gốc tự do DPPH và ABTS^{•+} ($r = 0,88 - 0,90$), cho thấy các hợp chất này đóng vai trò chính trong cơ chế bắt gốc tự do. Ngược lại, IC₅₀ có tương quan nghịch với tất cả các chỉ tiêu ($r = -0,83$ đến $-0,95$), đặc biệt với ABTS^{•+} và DPPH, chứng minh rằng khi hàm lượng polyphenol tăng và khả năng bắt gốc tự do mạnh hơn thì nồng độ cần thiết để ức chế 50% giảm rõ rệt.

	TPC	TFC	DPPH	ABTS ^{•+}	IC ₅₀
TPC	1,00	0,99	0,90	0,90	-0,85
TFC	0,99	1,00	0,88	0,88	-0,83
DPPH	0,90	0,88	1,00	0,97	-0,92
ABTS ^{•+}	0,90	0,88	0,97	1,00	-0,95
IC ₅₀	-0,85	-0,83	-0,92	-0,95	1,00

Hình 4. Mối tương quan giữa các hợp chất có khả năng chống oxy hóa của sữa chua từ dịch chiết đậu nây mầm

4. KẾT LUẬN

Quá trình nây mầm làm gia tăng đáng kể hoạt tính chống oxy hóa của nguyên liệu đậu nành và đậu xanh, thể hiện qua sự tăng mạnh TPC, TFC, khả năng bắt gốc tự do DPPH, ABTS^{•+}, đồng thời làm giảm giá trị IC₅₀. Kết quả nghiên cứu cho thấy, tỉ lệ phối chế đậu nành : đậu xanh là 6:

4, điều kiện lên men ở 40°C trong 7 giờ được xác định là phù hợp nhất, tạo điều kiện thuận lợi cho vi khuẩn axit lactic phát triển và thúc đẩy chuyển hóa sinh học, từ đó nâng cao hoạt tính chống oxy hóa của sản phẩm. Nghiên cứu không chỉ cung cấp cơ sở khoa học cho các nghiên cứu tiếp theo về tối ưu hóa quy trình sản xuất sữa chua thực vật từ đậu nây mầm mà còn góp phần định hướng phát triển các sản phẩm thực phẩm chức năng có giá trị sinh học cao, đáp ứng xu hướng tiêu dùng hiện đại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Saha, D., Sobur, K. A., Sarker, M. A. A., Aunanna, A. B. A., Liton, S. C. & Pranto, R. A. (2025). Nutritional value, probiotic potential and health benefits of traditional fermented dairy foods, dahi and yogurt: A comprehensive review. *Journal of Bioscience and Environment Research*, 2(3): 8 - 17. <https://doi.org/10.69517/JBER.2025.02.03.0003>.
- [2]. Ali, M. A., Kamal, M. M., Rahman, M. H., Siddiqui, M. N., Haque, M. A., Saha, K. K. & Rahman, M. A. (2022). Functional dairy products as a source of bioactive peptides and probiotics: Current trends and future perspectives. *Journal of Food Science and Technology*, 59(4): 1263 - 1279. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05091-8>.
- [3]. Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., Gänzle, M., Kort, R., Pasin, G., Pihlanto, A., Smid, E. J. & Hutkins, R. (2017). Health benefits of fermented foods: Microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 94 - 102. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>.
- [4]. Granato, D., Branco, G. F., Nazzaro, F., Cruz, A. G. & Faria, J. A. F. (2010). Functional foods and nondairy probiotic food development: Trends, concepts, and products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(3): 292 - 302. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00110.x>.
- [5]. Dragomir, C. N., Misca, C. D., Dossa, S., Stoin, D., Velciov, A., Jianu, C., Radulov, I., Suba, M., Ianasi, C. & Alexa, E. (2026). Germination as a sustainable green pre-treatment for the recovery and enhancement of high-value compounds in broccoli and kale. *Molecules*, 31(2): 350 - 377. <https://doi.org/10.3390/molecules31020350>.
- [6]. Pajak, P., Socha, R., Gałkowska, D., Rożnowski, J. & Fortuna, T. (2014). Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. *Food Chemistry*, 143, 300 - 306. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.064>.
- [7]. Hur, S. J., Lee, S. Y., Kim, Y. C., Choi, I. & Kim, G. B. (2014). Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods. *Food Chemistry*, 160, 346 - 356. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.112>.
- [8]. Trần Thị Hà Ny, Nguyễn Quang Đạt, Nguyễn Thị Lan Anh, Trương Văn Thiên & Phạm Thị Hương (2015). Nghiên cứu quá trình sản xuất sữa chua đậu nành nhờ Kefir. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Đà Nẵng*, 105 - 109. <https://jst-ud.vn/jst-ud/article/view/3374>.
- [9]. Trần Thị Định, Nguyễn Thị Thúy Nga, Vũ Thị Huyền, Nguyễn Thị Hoàng Lan, Bùi Thúy Ngọc, Vũ Thị Kim Oanh & Đinh Thị Hiền (2023). Ảnh hưởng của nguyên liệu đến chất lượng sữa chua đậu tương bổ sung bí đỏ và mứt đông cam. *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*, 21(6): 900 - 908.
- [10]. Nguyễn Thị Mai Hương & Phạm Thị Thu Hoài (2025). Phân lập, tuyển chọn chủng *Lactobacillus* ứng dụng cho lên men sữa chua đậu xanh. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam*, 67(5): 24 - 31. [https://doi.org/10.31276/VJST.67\(5\).24-31](https://doi.org/10.31276/VJST.67(5).24-31).
- [11]. Jiang, S., Cai, W. & Xu, B. (2013). Food quality improvement of soy milk made from short-time germinated soybeans. *Foods*, 2(2): 198 - 212. <https://doi.org/10.3390/foods2020198>.
- [12]. Khan, H., Khan, M. F., Khan, B. A., Wahab, A., Jan, S. U., Mukhtair, M., Ullah, N., Haque, N. & Farid, A. (2012). Oxidation of glutathione (GSH) in blood plasma due to oxidative stressors: A case study of silver. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 6(21): 1502 - 1507. <https://doi.org/10.5897/AJPP11.790>.
- [13]. Sakshy, S. & Paras, S. (2009). Comparative study of *Cuscuta reflexa* and *Cassytha filiformis* for diuretic activity. *Pharmacognosy Research*, 1, 327 - 330.

- [14]. Alam, M. N., Bristi, N. J. & Rafiquzzaman, M. (2013). Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 21(2): 143 - 152. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2012.05.002>.
- [15]. Huynh Thanh Duy, Nguyen Van Thanh, Le Nhu Thuy, Nguyen Trieu Nhat Uyen & Nguyen Duc Do (2020). Determination of total polyphenol, saponin contents, antioxidant and antibacterial activities of *Melastoma malabathricum* leaves by liquid-liquid extraction. *Can Tho University Journal of Science*, 12(1): 8 - 15.
- [16]. Günel-Köröğlu, D., Esatbeyoglu, T. & Capanoglu, E. (2025). Effect of germination on the phenolic compounds: Content, bioavailability, food applications, and health benefits. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 19(11): 8144 - 8164. <https://doi.org/10.1007/s11694-025-03392-6>.
- [17]. Gunathunga, C., Senanayake, S., Jayasinghe, M. A., Brennan, C. S., Truong, T., Marapana, U. & Chandrapala, J. (2024). Germination effects on nutritional quality: A comprehensive review of selected cereals and pulses changes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 128, 106024. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106024>.
- [18]. Xu, L., Wang, P., Ali, B., Yang, N., Chen, Y., Wu, F. & Xu, X. (2017). Changes of the phenolic compounds and antioxidant activities in germinated adlay seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(12): 4227 - 4234. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8298>.
- [19]. Li, W., Liu, X., Ma, Y., Huang, X., Hai, D., Cheng, Y., Bai, G., Wang, Y., Zhang, B., Qiao, M., Song, L. & Li, N. (2024). Changes in physio-biochemical metabolism, phenolics and antioxidant capacity during germination of different wheat varieties. *Food Chemistry*, X, 22, 101429. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101429>.
- [20]. Liu, G., Zhou, J., Wu, S., Fang, S., Bilal, M., Xie, C., Wang, P., Yin, Y. & Yang, R. (2024). Novel strategy to raise the content of aglycone isoflavones in soymilk and gel: Effect of germination on the physicochemical properties. *Food Research International*, 186, 114335. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114335>.
- [21]. Obaroakpo, J. U., Liu, L., Zhang, S., Lü, J., Zhang, C., Lv, J., Pang, X. & Zhang, M. (2019). Antioxidant capacity of germinated quinoa-based yoghurt and concomitant effect of sprouting on its functional properties. *LWT*, 116, 108592. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108592>.
- [22]. Chen, L. R. & Chen, K. H. (2021). Utilization of isoflavones in soybeans for women with menopausal syndrome: An overview. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(6): 3212 - 3235. <https://doi.org/10.3390/ijms22063212>.
- [23]. Gao, Y., Zhou, H., Wang, Y., Nussio, L. G., Yang, F. & Ni, K. (2024). Insights into fermentation with lactic acid bacteria on the flavonoids biotransformation of alfalfa silage. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 11(1): 1 - 15. <https://doi.org/10.1186/S40538-024-00594-W>.
- [24]. Ghosh, S. (2025). Enhancement of antioxidant activity in plant-based foods through fermentation. *Journal of Food and Biotechnology*, 6(1): 44 - 48. <https://doi.org/10.51470/FAB.2025.6.1.44>.
- [25]. Paventi, G., Di Martino, C., Coppola, F. & Iorizzo, M. (2025). β -Glucosidase activity of *Lactiplantibacillus plantarum*: A key player in food fermentation and human health. *Foods*, 14(9): 1451 - 1479. <https://doi.org/10.3390/foods14091451>.
- [26]. Gomes-Lobo, C. J., Pérez-Correa, J. R., Franco, W. & Pérez-Jiménez, J. (2025). Modulation of phenolic compounds in murta (*Ugni molinae* Turcz) juice by lactic fermentation in monoculture and coculture: Identification and quantification of extractable and non-extractable fractions by HPLC-QTOF-MS. *Food Chemistry*, 497, 146954. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.146954>.
- [27]. Liang, Z., Huang, Y., Zhang, P. & Fang, Z. (2023). Impact of fermentation on the structure and antioxidant activity of selective phenolic compounds. *Food Bioscience*, 56, 103147. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103147>.
- [28]. Yannuarsita, D., Prasoj, N. D. & Sasmito, M. S. (2024). Optimization of temperature and time for the quality of probiotic yogurt using custom incubator. *AGRITEPA*:

Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian, 11(2): 469 - 480. <https://doi.org/10.37676/AGRITEPA.V11I2.7201>.

[29]. Gjorgievski, N., Tomovska, J., Dimitrovska, G., Makarijoski, B. & Shariati, M. A. (2014). Determination of the antioxidant activity in yogurt. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 6(2), 88 - 92.

[30]. Taşkın, B. & Bağdatlıoğlu, N. (2020). Influence of conventional fermentation on antioxidant activity and phenolic contents of two common dairy products: Yogurt and kefir.

Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 8(6): 1277 - 1282. <https://doi.org/10.24925/TURJAF.V8I6.1277-1282.3290>.

[31]. Sarıtaş, S., Mondragon Portocarrero, A. C., Miranda López, J. M., Lombardo, M., Koch, W., Raposo, A., El-Seedi, H. R., de Brito Alves, J. L., Esatbeyoglu, T., Karav, S. & Witkowska, A. M. (2024). The impact of fermentation on the antioxidant activity of food products. *Molecules*, 29(16): 3941 - 3970. <https://doi.org/10.3390/molecules29163941>.

EFFECTS OF BLENDING RATIO AND FERMENTATION CONDITIONS ON THE ANTIOXIDANT CAPACITY OF YOGURT FERMENTED FROM A MIXTURE OF GERMINATED SOYBEAN AND MUNG BEAN EXTRACTS

**Tran Minh Phuc¹, Nguyen Le Yen Nhi¹, Nguyen Trung Truc¹,
Nguyen Ngoc Thanh², Huynh Xuan Phong²**

¹*Faculty of Biochemistry and Food technology,
Vinh Long University of Technology Education*

²*Institute of Food and Biotechnology, Can Tho University*

Abstract

Plant based yogurt derived from germinated legumes has attracted increasing attention due to its high nutritional value and strong antioxidant potential. This study aimed to determine appropriate processing parameters to enhance the antioxidant activity of yogurt produced from germinated legumes. The effects of blending ratios between soybean milk : mung bean milk were investigated at ratios of 1: 0; 7: 3; 6: 4; 5: 5; 4: 6; 3: 7; 0: 1. In addition, fermentation conditions, including temperature (35, 40, 45°C) and time (5, 7, 9, 11 hours), were evaluated based on bioactive indicators such as total polyphenol content (TPC), total flavonoid content (TFC), DPPH and ABTS^{•+} radical scavenging activities and half maximal inhibitory concentration (IC₅₀). The results indicated that the soybean with mung bean ratio of 6: 4, combined with fermentation at 40°C for 7 hours, produced the highest antioxidant activity. This study provides scientific insights that serve as a foundation for optimizing the production process of yogurt formulated from soybean and germinated mung bean extracts, thereby contributing to the diversification of functional yogurt products with enhanced bioactive properties to meet current consumer demands.

Keywords: *Acid lactic, antioxidant, germination, plant based yogurt.*

Ngày nhận bài: 10/3/2026

Ngày chuyển phản biện: 18/3/2026

Ngày thông qua phản biện: 16/4/2026

Ngày duyệt đăng: 20/5/2026