

ĐÁNH GIÁ SỰ BIẾN ĐỔI CHẤT LƯỢNG TRONG QUÁ TRÌNH BẢO QUẢN LẠNH CỦA SỮA HẠT ĐIỀU - GẠO LỨT ĐỎ BỔ SUNG NƯỚC ÉP DỨA

Đặng Thúy Mùi^{1,*}, Trần Thị Phương Kiều¹, Trần Thị Hồng Châu¹

¹Khoa Du lịch và Ẩm thực - Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

* Email: muidt@huitt.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm đánh giá sự biến đổi chất lượng của sản phẩm sữa hạt điều - gạo lứt đỏ bổ sung nước ép dứa trong điều kiện bảo quản lạnh (4 - 6°C) trong 15 ngày. Các chỉ tiêu được khảo sát bao gồm: Thành phần dinh dưỡng, hợp chất có hoạt tính sinh học, oxy hóa lipid, độ ổn định hệ phân tán, vi sinh và cảm quan. Kết quả cho thấy, hàm lượng đường, protein và lipid giảm nhẹ (4 - 6%), trong khi các hợp chất chống oxy hóa suy giảm rõ rệt, đặc biệt anthocyanin (17%) và carotenoid (13%). Đồng thời, các chỉ số oxy hóa lipid (AV, PV, TBARS) tăng mạnh (70 - 80%), phản ánh quá trình oxy hóa diễn ra liên tục. Độ ổn định hệ phân tán suy giảm với độ nhớt giảm 11%, độ bền nhũ giảm 6 - 7% và tách lớp tăng đáng kể. Các biến đổi này có mối liên hệ chặt chẽ với sự suy giảm cảm quan, trong đó kết cấu và vị giảm mạnh nhất (20 - 24%). Về vi sinh, sản phẩm duy trì an toàn trong 10 ngày đầu, nhưng xuất hiện nấm men - nấm mốc ở mức thấp vào ngày 15. Kết quả cho thấy, sự suy giảm chất lượng chịu chi phối bởi oxy hóa lipid, phân hủy hợp chất chống oxy hóa và mất ổn định hệ keo - nhũ tương. Thời hạn sử dụng đề xuất của sản phẩm là 10 ngày trong điều kiện bảo quản lạnh.

Từ khóa: Bảo quản lạnh, hoạt tính kháng oxy hóa (DPPH), nước ép dứa, sữa hạt điều - gạo lứt đỏ, sữa thực vật.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Những năm gần đây, đồ uống có nguồn gốc thực vật phát triển mạnh nhờ xu hướng tiêu dùng lành mạnh và bền vững [1, 2]. Các sản phẩm này cung cấp lipid không bão hòa, protein thực vật và các hợp chất hoạt tính sinh học như polyphenol, flavonoid và anthocyanin [3, 4]. Trong đó, gạo lứt đỏ là nguồn giàu chất chống oxy hóa, còn hạt điều cung cấp protein và axit béo không bão hòa có giá trị dinh dưỡng cao [3, 5]. Bên cạnh đó, nước ép dứa được bổ sung nhằm cải thiện hương vị tự nhiên và cung cấp enzyme bromelain có khả năng thủy phân một phần protein. Tuy nhiên, các axit hữu cơ và bromelain trong nước ép dứa cũng có thể ảnh hưởng đến tương tác giữa protein, lipid và polysaccharide, từ đó làm thay đổi độ ổn định của hệ keo - nhũ tương trong quá trình bảo quản [6, 7]. Vì vậy, việc đánh giá sự ổn định của sản phẩm sau khi bổ sung nước ép dứa có ý nghĩa quan trọng đối với phát triển và thương mại hóa sản phẩm. Khác với sữa động vật có cấu trúc micelle casein bền vững, sữa thực vật tồn tại dưới dạng hệ keo - nhũ tương đa pha, trong đó độ ổn định phụ thuộc vào điều kiện đồng hóa, thành phần nguyên liệu và tương tác giữa các cấu tử [6,

8, 9]. Trong quá trình bảo quản lạnh, các hợp chất hoạt tính sinh học như polyphenol, anthocyanin và carotenoid dễ bị oxy hóa hoặc phân hủy dưới tác động của oxy hòa tan, ánh sáng và pH, làm suy giảm hoạt tính chống oxy hóa và chất lượng cảm quan [9, 10]. Đồng thời, quá trình oxy hóa lipid làm gia tăng các chỉ số axit (AV), peroxide (PV) và TBARS, ảnh hưởng trực tiếp đến giá trị dinh dưỡng và mùi vị của sản phẩm [5, 11]. Sự mất ổn định của hệ nhũ tương còn làm giảm độ nhớt, giảm độ bền nhũ, tăng hiện tượng tách lớp và tạo điều kiện cho vi sinh vật phát triển ở giai đoạn cuối bảo quản mặc dù sản phẩm đã được xử lý nhiệt [6, 8, 12, 13]. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá toàn diện sự thay đổi chất lượng của sản phẩm trong điều kiện bảo quản lạnh, làm cơ sở khoa học để đề xuất thời hạn sử dụng phù hợp và cung cấp dữ liệu phục vụ phát triển các sản phẩm sữa thực vật từ nguồn nguyên liệu trong nước.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Vật liệu

Mẫu nghiên cứu là sữa hạt điều - gạo lứt đỏ bổ sung nước ép dứa được sản xuất theo công

thức và điều kiện công nghệ đã được tối ưu hóa trong nghiên cứu trước bằng phương pháp bề mặt đáp ứng (Response Surface Methodology - RSM). Công thức tối ưu gồm tỷ lệ hạt điều : gạo lứt đỏ = 60 : 40, tỷ lệ nguyên liệu : nước 1 : 6 (w/v) và 9% (v/v) nước ép dứa tươi. Hỗn hợp sau phối trộn được xử lý bằng enzyme bromelain tự nhiên có trong nước ép dứa ở $45 \pm 5^\circ\text{C}$ trong 52,5 phút, sau đó đông hóa ở 250 bar, rót vào chai thủy tinh dung tích 200 mL, thanh trùng ở 70°C trong 20 phút, làm nguội. Sản phẩm sau khi chế biến được sử dụng làm mẫu nghiên cứu để đánh giá sự biến đổi thành phần dinh dưỡng, hợp chất hoạt tính sinh học, oxy hóa lipid, độ ổn định hệ keo - nhũ tương, vi sinh và cảm quan trong điều kiện bảo quản lạnh ở $4 - 6^\circ\text{C}$.



Hình 1. Mẫu chai sản phẩm sữa hạt điều - gạo lứt đỏ 200 mL đựng trong chai thủy tinh được thanh trùng $70^\circ\text{C}/20$ phút

2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Khảo sát thời gian bảo quản

Sản phẩm sữa hạt điều - gạo lứt đỏ bổ sung nước ép dứa sau khi được chế biến theo công thức đã tối ưu được rót vào chai thủy tinh dung tích 200 mL, đóng nắp kín, thanh trùng ở 70°C trong 20 phút, làm nguội và bảo quản ở $4 - 6^\circ\text{C}$. Điều kiện thanh trùng được lựa chọn nhằm hạn chế tác động bất lợi của nhiệt độ cao đến các hợp chất hoạt tính sinh học và chất lượng cảm quan, đồng thời bảo đảm khả năng kiểm soát vi sinh đối với sản phẩm nghiên cứu. Nhiệt độ bảo quản $4 - 6^\circ\text{C}$ được lựa chọn vì đây là điều kiện bảo quản lạnh phổ biến đối với đồ uống thanh trùng và phù hợp với điều kiện phân phối, tiêu dùng hiện nay [6, 8, 13].

Thí nghiệm được bố trí theo dõi trong 15 ngày, với các thời điểm lấy mẫu vào ngày 0, 5, 10

và 15. Ở mỗi thời điểm, các mẫu được phân tích các chỉ tiêu chất lượng gồm: pH, độ nhớt, hàm lượng chất rắn hòa tan tổng ($^\circ\text{Brix}$), thành phần dinh dưỡng (đường tổng, protein, lipid), hoạt tính chống oxy hóa (DPPH), tổng polyphenol (TPC), anthocyanin, carotenoid, các chỉ số oxy hóa lipid (AV, PV và TBARS), độ bền nhũ, độ tách lớp, tổng số vi sinh vật hiếu khí, Coliform, nấm men - nấm mốc và đánh giá cảm quan. Mỗi chỉ tiêu được xác định trên ba lần lặp độc lập ($n = 3$) nhằm bảo đảm độ tin cậy của kết quả.

2.2.2. Đánh giá mức độ chấp nhận của người tiêu dùng

Khảo sát thị hiếu được thực hiện trên 60 người tiêu dùng bằng thang Hedonic 7 điểm, từ 1 = rất không thích đến 7 = rất thích. Kết quả được tổng hợp theo tần suất và tính điểm trung bình [14].

2.2.3. Phân tích chất lượng sản phẩm

Giá trị pH được xác định bằng máy đo pH điện cực [15]. Hàm lượng chất rắn hòa tan tổng số ($^\circ\text{Brix}$) được xác định bằng khúc xạ kế cầm tay [16]. Độ nhớt được xác định bằng nhớt kế Brookfield DV-E ở 25°C theo Pan và cs (2023) [6].

Hàm lượng đường tổng được xác định theo phương pháp phenol-sulfuric axit [17, 18]. Hàm lượng protein được xác định theo phương pháp Kjeldahl AOAC 991.20 [19, 20], lipid tổng được xác định bằng phương pháp Soxhlet AOAC 989.05 [20].

Hoạt tính chống oxy hóa DPPH được xác định theo phương pháp của Brand-Williams và cs (1995) [21], Hàm lượng phenolic tổng (TPC) được xác định bằng thuốc thử Folin-Ciocalteu [19, 20], anthocyanin được xác định theo phương pháp chênh lệch pH [22], carotenoid được xác định theo phương pháp quang phổ UV-Vis [23].

Mức độ oxy hóa lipid được đánh giá thông qua chỉ số axit (AV), peroxide (PV) và TBARS được xác định theo phương pháp AOCS Cd 3d-63 của Buege và S. D. Aust (1978) [24].

Độ ổn định của hệ keo - nhũ tương được đánh giá thông qua độ bền nhũ và độ tách lớp bằng phương pháp ly tâm theo McClements (2016) [25]. Các chỉ tiêu này được sử dụng để theo dõi sự thay đổi cấu trúc của hệ phân tán trong quá trình bảo quản.

Tổng số vi sinh vật hiếu khí, Coliforms và nấm men - nấm mốc được xác định lần lượt theo TCVN 4884-1:2015 [26], TCVN 6848:2007 [27] và TCVN 8275-1:2010 [28].

2.3. Phương pháp xử lý số liệu

Mỗi thí nghiệm được tiến hành lặp lại ba lần ($n=3$), số liệu thí nghiệm được trình bày dưới dạng giá trị trung bình ($\pm$ SD). Đồ thị biểu diễn bằng phần mềm Excel (Microsoft Office Professional Plus 2021).

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

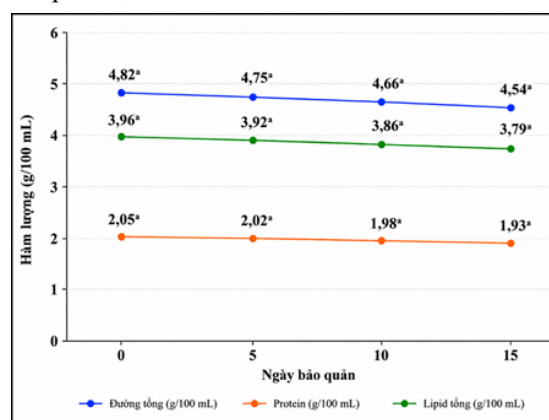
3.1. Ảnh hưởng của thời gian bảo quản đến các chỉ tiêu dinh dưỡng

Kết quả ở hình 2 cho thấy, hàm lượng đường tổng, protein và lipid tổng của sản phẩm có xu hướng giảm nhẹ trong 15 ngày bảo quản lạnh ở 4 - 6°C. Cụ thể, hàm lượng đường tổng giảm từ 4,82 xuống 4,54 g/100 mL, tương ứng 5,8%; protein giảm từ 2,05 xuống 1,93 g/100 mL, tương ứng 5,9% và lipid tổng giảm từ 3,96 xuống 3,79 g/100 mL, tương ứng 4,3%. Tuy nhiên, các giá trị tại những thời điểm bảo quản đều mang cùng ký tự thống kê, cho thấy sự khác biệt chưa có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$). Vì vậy, các biến đổi ghi nhận chỉ phản ánh xu hướng giảm về mặt số học, chưa đủ cơ sở để kết luận rằng các thành phần dinh dưỡng đã suy giảm đáng kể trong thời gian bảo quản. Xu hướng này có thể liên quan đến sự thay đổi trạng thái phân tán của hệ sản phẩm, bao gồm: Hiện tượng kết tụ protein, tương tác giữa protein và các hợp chất phenolic, cũng như sự tách pha hoặc bám dính lipid lên thành bao bì.

Kết quả này tương đồng với các nghiên cứu trước đây trên đồ uống sữa hạt. Lima và cs (2021) [8] ghi nhận lipid giảm 3 - 6% sau 14 ngày kèm hiện tượng tách pha rõ rệt. Pham và cs (2024) [10] cũng báo cáo mức giảm protein từ 4 - 7% trên đồ uống từ gạo. Đáng chú ý, Daryani và cs (2024) [12] khẳng định sự suy giảm dinh dưỡng trong sữa thực vật chủ yếu do mất ổn định hệ keo - nhũ tương và tương tác nội hệ hơn là do vi sinh vật hay enzyme.

So với hệ đồ uống phối trộn sữa bò - đậu, mức độ suy giảm protein trong nghiên cứu này cao hơn nhẹ. Kết quả nghiên cứu của Kurbanova và cs (2024) [29] ghi nhận hàm lượng protein chỉ giảm khoảng 3 - 5 % trong cùng điều kiện bảo quản lạnh. Sự khác biệt này có thể liên quan đến

đặc điểm cấu trúc của hệ sữa thực vật, vốn không có mạng micelle casein giúp ổn định pha phân tán như sữa động vật. Đồng thời, sự hiện diện của nước ép dừa với các axit hữu cơ và enzyme bromelain có thể làm thay đổi tương tác giữa protein và các cấu tử trong hệ, góp phần làm giảm độ ổn định của nhũ tương trong quá trình bảo quản [6, 8]. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự suy giảm chất lượng của sản phẩm có mối liên quan chặt chẽ với hiện tượng mất ổn định hệ phân tán và các tương tác lý - hóa diễn ra trong quá trình bảo quản lạnh.



Hình 2. Sự thay đổi hàm lượng đường tổng, protein và lipid của sữa hạt điều - gạo lứt đỏ bổ sung nước ép dừa trong quá trình bảo quản lạnh

Ghi chú: Các giá trị trên cùng một đường biểu diễn mang cùng chữ cái phía trên cho thấy không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các thời điểm bảo quản ($p > 0,05$).

3.2. Ảnh hưởng của thời gian bảo quản đến các hợp chất hoạt tính sinh học và oxy hóa lipid

Để làm rõ mối liên hệ giữa sự suy giảm các hợp chất hoạt tính sinh học và quá trình oxy hóa lipid trong thời gian bảo quản, các chỉ tiêu DPPH, TPC, anthocyanin, carotenoid, AV, PV và TBARS được theo dõi định kỳ; kết quả được trình bày trong bảng 1.

Kết quả tại bảng 1 cho thấy, trong quá trình bảo quản lạnh 4 - 6°C trong 15 ngày, các hợp chất có hoạt tính sinh học của sản phẩm suy giảm có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$), đồng thời các chỉ số oxy hóa lipid tăng liên tục theo thời gian. Cụ thể, hoạt tính chống oxy hóa DPPH giảm từ 47,25 xuống 45,95% (2,7%), TPC giảm từ 342 xuống 318 mg GAE/L (7,0%), anthocyanin giảm từ 18,6 xuống 15,4 mg C3G/L (17,2%) và carotenoid

giảm từ 3,42 xuống 2,98 mg/L (12,9%). Ngược lại, chỉ số AV tăng từ 0,68 lên 1,18 mg KOH/g lipid (73,5%), PV tăng từ 0,82 lên 1,46 meq O₂/kg lipid (78,0%) và TBARS tăng từ 0,118 lên

0,201 mg MDA/kg mẫu (70,3%). Xu hướng này cho thấy sự suy giảm đồng thời của hệ hợp chất chống oxy hóa và sự gia tăng của các sản phẩm oxy hóa lipid trong quá trình bảo quản.

Bảng 1. Biến đổi các hợp chất hoạt tính sinh học và oxy hóa lipid trong quá trình bảo quản lạnh

Thời gian bảo quản (ngày)	DPPH (%)	TPC (mg GAE/L)	Anthocyanin (mg C3G/L)	Carotenoid (mg/L)	AV (mg KOH/g lipid)	PV (meq O ₂ /kg lipid)	TBARS (mg MDA/kg mẫu)
0	47,25 ± 0,25 ^a	342 ± 6 ^a	18,6 ± 0,5 ^a	3,42 ± 0,08 ^a	0,68 ± 0,03 ^d	0,82 ± 0,04 ^d	0,118 ± 0,006 ^d
5	47,00 ± 0,05 ^a	336 ± 5 ^{ab}	17,9 ± 0,5 ^b	3,31 ± 0,07 ^b	0,79 ± 0,03 ^c	0,96 ± 0,05 ^c	0,134 ± 0,007 ^c
10	46,59 ± 0,05 ^b	327 ± 7 ^b	16,8 ± 0,6 ^c	3,17 ± 0,09 ^c	0,95 ± 0,04 ^b	1,18 ± 0,06 ^b	0,161 ± 0,008 ^b
15	45,95 ± 0,05 ^c	318 ± 8 ^c	15,4 ± 0,7 ^d	2,98 ± 0,10 ^d	1,18 ± 0,05 ^a	1,46 ± 0,08 ^a	0,201 ± 0,010 ^a

Ghi chú: Các giá trị trung bình mang chữ cái khác nhau trong cùng một cột khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%.

Sự giảm DPPH, TPC, anthocyanin và carotenoid chủ yếu liên quan đến quá trình oxy hóa và phân hủy các hợp chất phenolic dưới tác động của oxy hòa tan, ánh sáng và pH. Trong đó, anthocyanin là nhóm nhạy nhất nên có tốc độ suy giảm lớn nhất, phù hợp với bản chất cấu trúc không bền của nhóm sắc tố này. Đồng thời, các hợp chất phenolic còn tham gia phản ứng với protein và lipid, làm giảm hàm lượng tự do trong hệ. Ngược lại, sự gia tăng AV phản ánh quá trình thủy phân lipid tạo axit béo tự do, trong khi PV và TBARS lần lượt biểu thị sự hình thành các sản phẩm oxy hóa bậc một (hydroperoxide) và bậc hai (aldehyde như malondialdehyde). Sự gia tăng đồng thời của PV và TBARS cho thấy quá trình oxy hóa lipid diễn ra liên tục và tích lũy trong suốt thời gian bảo quản. Kết quả này phù hợp với kết quả các nghiên cứu trước trên đồ uống thực vật. Ali và cs (2018) [30] ghi nhận hàm lượng polyphenol giảm khoảng 5 - 10% sau 10 - 15 ngày bảo quản, trong khi Lin và cs (2020) [11] hoạt tính chống oxy hóa của nước ép thực vật giảm 2 - 5% trong điều kiện bảo quản lạnh. Đối với hệ sữa hạt, Phạm và cs (2024) [10] báo cáo TPC giảm khoảng 6 - 9% và hoạt tính chống oxy hóa giảm tương ứng trong quá trình bảo quản đồ uống từ gạo. Về oxy hóa lipid, kết quả nghiên cứu của Lima và cs (2021) [8] trên sữa hạt điều ghi nhận PV tăng khoảng 60 - 80% sau 14 ngày, tương đương với mức tăng 78 % trong nghiên cứu này. Ngoài ra, nghiên cứu của Pan và cs (2023) [6] cũng cho thấy, trong các hệ sữa hạt điều, sự gia tăng TBARS có liên hệ chặt chẽ với sự suy giảm độ ổn định và cảm quan của sản phẩm.

So với hệ đồ uống phối trộn sữa bò - đậu, mức độ suy giảm protein trong nghiên cứu này tương đối cao. Kết quả nghiên cứu của Kurbanova và cs (2024) [29] ghi nhận hàm lượng protein chỉ giảm khoảng 3 - 5% trong cùng điều kiện bảo quản lạnh. Sự khác biệt này có thể liên quan đến đặc điểm cấu trúc của hệ sữa thực vật, vốn không có mạng micelle casein giúp ổn định pha phân tán như sữa động vật. Đồng thời, sự hiện diện của nước ép dừa với các axit hữu cơ và enzyme bromelain có thể làm thay đổi tương tác giữa protein và các cấu tử trong hệ, góp phần làm giảm độ ổn định của nhũ tương trong quá trình bảo quản [6, 8]. Kết quả nghiên cứu cho thấy, sự suy giảm chất lượng của sản phẩm có mối liên quan chặt chẽ với hiện tượng mất ổn định hệ phân tán và các tương tác lý - hóa diễn ra trong quá trình bảo quản lạnh.

3.3. Ảnh hưởng của thời gian bảo quản đến độ ổn định hệ phân tán

Độ ổn định của hệ keo - nhũ tương là một trong những chỉ tiêu quyết định chất lượng và thời hạn sử dụng của sữa thực vật. Trong sản phẩm sữa hạt điều - gạo lứt đỏ bổ sung nước ép dừa, các biến đổi về pH, quá trình oxy hóa lipid, cùng với sự hiện diện của các axit hữu cơ và enzyme bromelain từ nước ép dừa có thể làm thay đổi tương tác giữa protein, lipid và polysaccharide, từ đó ảnh hưởng đến cấu trúc của hệ phân tán trong quá trình bảo quản [6, 8, 12]. Vì vậy, nghiên cứu đã theo dõi các chỉ tiêu phản ánh độ ổn định của hệ phân tán gồm độ nhớt, độ bền nhũ, độ tách lớp và pH; kết quả được trình bày trong bảng 2.

Kết quả tại bảng 2 cho thấy, trong 15 ngày bảo quản lạnh (4 - 6°C), độ ổn định hệ phân tán suy giảm rõ rệt ($p < 0,05$). Cụ thể, độ nhớt giảm 11,4% (từ 66,40 xuống 58,80 cP), độ bền nhũ

giảm 6,7% (từ 96,4 xuống 89,9%), trong khi độ tách lớp tăng mạnh từ 0,8 lên 6,7% (gấp 8,4 lần). Chỉ số pH cũng giảm nhẹ từ 5,986 xuống 5,788, cho thấy xu hướng axit hóa nhẹ của hệ sản phẩm.

Bảng 2. Biến đổi độ ổn định hệ phân tán trong quá trình bảo quản lạnh

Thời gian bảo quản (ngày)	Độ nhớt (cP)	Độ bền nhũ (%)	Độ tách lớp (%)	pH
0	66,40 ± 0,10 ^a	96,4 ± 0,8 ^a	0,8 ± 0,2 ^d	5,986 ± 0,004 ^a
5	63,97 ± 0,32 ^b	94,8 ± 0,9 ^b	1,9 ± 0,3 ^c	5,979 ± 0,003 ^a
10	61,60 ± 1,01 ^c	92,7 ± 1,1 ^c	3,8 ± 0,4 ^b	5,880 ± 0,002 ^b
15	58,80 ± 0,46 ^d	89,9 ± 1,3 ^d	6,7 ± 0,6 ^a	5,788 ± 0,011 ^c

Ghi chú: Các giá trị trung bình mang chữ cái khác nhau trong cùng một cột khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%.

Về cơ chế, sự sụt giảm độ nhớt liên quan đến việc tái cấu trúc hệ keo - nhũ tương, khi các hạt phân tán (giọt dầu, protein, polysaccharide) giảm khả năng tương tác mạng. Độ bền nhũ giảm phản ánh quá trình kết tụ protein và hợp nhất giọt dầu (coalescence), làm suy yếu lớp màng liên diện pha lipid. Sự sụt giảm pH thúc đẩy hiện tượng này bằng cách thay đổi điện tích bề mặt protein, làm giảm lực đẩy tĩnh điện và gia tăng sự kết tụ, dẫn đến hiện tượng tách lớp diễn ra nhanh hơn.

Xu hướng này tương đồng với kết quả nghiên cứu của Lima và cs (2021) [8], ghi nhận độ nhớt sữa hạt điều giảm 8 - 12% và xuất hiện tách lớp sau 14 ngày. Tương tự, nghiên cứu của Pan và cs (2023) [6] cũng chỉ ra rằng, dù có xử lý enzyme, độ bền nhũ vẫn giảm theo thời gian do sự tái phân bố pha lipid. Nghiên cứu của Daryani và cs (2024) [12] tổng kết rằng, việc thiếu cấu trúc protein bền vững là nguyên nhân chính khiến sữa thực vật dễ mất ổn định.

So với sữa động vật, mức độ suy giảm ổn định trong nghiên cứu này rõ rệt hơn. Kurbanova và cs (2024) [29] khi nghiên cứu hệ đồ uống phối trộn sữa bò - đậu ghi nhận độ nhớt chỉ giảm khoảng 5 - 8% và mức tách lớp thấp hơn đáng kể trong cùng điều kiện bảo quản. Điều này cho thấy vai trò quan trọng của hệ casein micelle trong việc duy trì ổn định cấu trúc của sữa động vật, trong khi sữa thực vật dễ bị mất ổn định hơn do tương tác yếu giữa các cấu tử.

Như vậy, kết quả nghiên cứu đã làm rõ quy luật suy giảm độ ổn định hệ phân tán theo thời gian bảo quản, đồng thời chỉ ra rằng các cơ chế chính bao gồm: Giảm độ nhớt, kết tụ protein, hợp nhất giọt dầu và thay đổi pH. Những biến đổi này có mối liên hệ chặt chẽ với hiện tượng tách lớp và suy giảm chất lượng cảm quan của sản phẩm trong quá trình bảo quản lạnh.

3.4. Ảnh hưởng của thời gian bảo quản hệ vi sinh

Để đánh giá mức độ an toàn và ổn định vi sinh của sản phẩm trong quá trình bảo quản lạnh, tổng số vi sinh vật hiếu khí và nấm men - nấm mốc được theo dõi tại các thời điểm khảo sát; kết quả được trình bày trong bảng 3.

Bảng 3. Biến đổi vi sinh trong quá trình bảo quản lạnh

Thời gian bảo quản (ngày)	Tổng số vi sinh vật hiếu khí (CFU/mL)	Nấm men - nấm mốc (CFU/mL)
0	< 10	< 1
5	< 10	< 1
10	< 10	< 1
15	< 10	1,8 × 10 ¹

Kết quả phân tích cho thấy tổng số nấm men - nấm mốc không được phát hiện trong 10 ngày đầu và đạt 1,8 × 10¹ CFU/mL vào ngày thứ 15. Do phương pháp sử dụng chỉ định lượng tổng số nấm men và nấm mốc, nghiên cứu chưa đủ cơ sở để xác định riêng nhóm vi sinh vật xuất hiện là nấm men hay nấm mốc. Ở pH gần 6, cả hai nhóm đều có khả năng tồn tại, tuy nhiên sự phát triển còn phụ thuộc vào hoạt độ nước, hàm lượng chất dinh dưỡng, mức độ nhiễm ban đầu, điều kiện bao gói và nhiệt độ bảo quản. Vì vậy, kết quả này chỉ nên được xem là dấu hiệu cho thấy chất lượng vi sinh bắt đầu suy giảm ở giai đoạn cuối bảo quản. Việc phân lập và định danh vi sinh vật cần được thực hiện trong nghiên cứu tiếp theo để xác định chính xác nhóm vi sinh vật chiếm ưu thế.

Kết quả này phù hợp với kết quả các nghiên cứu trước trên sữa hạt. Lima và cs (2021) [8] ghi nhận tổng số vi sinh vật hiếu khí trong sữa hạt

điều duy trì dưới 10^2 CFU/mL trong 10 - 12 ngày đầu bảo quản lạnh, sau đó tăng lên khoảng 10^2 - 10^3 CFU/mL ở ngày 14 khi nghiên cứu sữa hạt điều bổ sung probiotic cũng cho thấy hệ sản phẩm có thể duy trì ổn định vi sinh trong giai đoạn đầu, nhưng sự phát triển của vi sinh vật tăng lên khi cấu trúc hệ bị suy yếu. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu của Kurbanova và cs (2024) [29] trên hệ đồ uống phối trộn (đậu - sữa bò) cũng ghi nhận nấm men và nấm mốc xuất hiện ở mức 10^1 - 10^2 CFU/mL sau 12 - 14

ngày bảo quản lạnh, tương đương với mức $1,8 \times 10^1$ CFU/mL trong nghiên cứu này.

Như vậy, sản phẩm duy trì ổn định vi sinh trong 10 ngày đầu bảo quản lạnh. Sự xuất hiện của tổng số nấm men - nấm mốc ở ngày 15 cho thấy chất lượng vi sinh bắt đầu suy giảm, nhưng chưa thể xác định cụ thể là nấm men hay nấm mốc do nghiên cứu chưa tiến hành phân lập và định danh.

3.5. Mức độ chấp nhận của người tiêu dùng đối với sản phẩm

Bảng 4. Biến đổi cảm quan chi tiết theo thời gian

Thời gian bảo quản (ngày)	Màu sắc	Mùi	Vị	Kết cấu	Chấp nhận chung
0	$5,92 \pm 0,30^a$	$5,76 \pm 0,34^a$	$5,71 \pm 0,31^a$	$5,82 \pm 0,29^a$	$5,80 \pm 0,32^a$
5	$5,73 \pm 0,28^{ab}$	$5,58 \pm 0,30^{ab}$	$5,49 \pm 0,29^{ab}$	$5,42 \pm 0,31^b$	$5,55 \pm 0,28^{ab}$
10	$5,51 \pm 0,27^b$	$5,24 \pm 0,32^b$	$5,10 \pm 0,30^b$	$5,01 \pm 0,33^c$	$5,22 \pm 0,30^a$

Ghi chú: Các giá trị trung bình mang chữ cái khác nhau trong cùng một cột khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%.

Đánh giá mức độ chấp nhận của người tiêu dùng chỉ được thực hiện đến ngày thứ 10. Kết quả được thể hiện ở bảng 4. Mẫu ngày thứ 15 không được đưa vào đánh giá cảm quan trên người tiêu dùng vì chỉ tiêu vi sinh không đạt yêu cầu.

Sự suy giảm chất lượng cảm quan có thể liên quan đến quá trình oxy hóa lipid, làm hình thành các hợp chất dễ bay hơi gây mùi lạ, đồng thời sự giảm hàm lượng polyphenol, anthocyanin và carotenoid làm sản phẩm kém hấp dẫn về màu sắc. Bên cạnh đó, hiện tượng giảm độ nhớt, giảm độ bền nhũ và tăng tách lớp cũng ảnh hưởng đến trạng thái và cảm nhận khi sử dụng [5, 6, 10]. Kết quả này phù hợp với xu hướng biến đổi của các chỉ tiêu hóa lý, hợp chất hoạt tính sinh học và độ ổn định hệ phân tán đã trình bày ở các mục trước. Đến ngày thứ 10, điểm cảm quan chung vẫn đạt mức chấp nhận theo thang đánh giá và không ảnh hưởng đáng kể đến khả năng chấp nhận của người tiêu dùng. Xu hướng này tương đồng với các công bố của Sharma và cs (2025) [13], Lima và cs (2021) [8] khi ghi nhận điểm cảm quan sữa hạt thường giảm xuống dưới 5,0 sau 14 ngày bảo quản do mất ổn định hệ nhũ. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu của Pan và cs (2023) [6] cũng cho thấy, sự suy giảm cảm quan có mối liên hệ chặt chẽ với sự mất ổn định hệ nhũ và quá trình oxy hóa lipid trong sữa hạt điều.

So với sữa động vật, mức độ suy giảm cảm quan trong nghiên cứu này diễn ra nhanh hơn. Kết

quả nghiên cứu của Kurbanova và cs (2024) [29] trên hệ đồ uống phối trộn sữa bò - đậu ghi nhận điểm cảm quan chỉ giảm khoảng 10 - 15% sau 12 ngày bảo quản, thấp hơn so với mức giảm 17 - 24% trong nghiên cứu hiện tại. Điều này cho thấy, hệ sữa thực vật nhạy cảm hơn với biến đổi trong bảo quản do thiếu cấu trúc protein bền vững và dễ xảy ra tách pha.

Kết quả này cho thấy, sản phẩm vẫn duy trì chất lượng cảm quan tốt trong giai đoạn đầu bảo quản lạnh. Trên cơ sở kết hợp kết quả đánh giá cảm quan với các chỉ tiêu hóa lý và vi sinh, thời hạn sử dụng đề xuất của sản phẩm là 10 ngày khi bảo quản ở 4 - 6°C.

4. KẾT LUẬN

Kết quả cho thấy chất lượng sản phẩm giảm dần theo thời gian bảo quản, thể hiện qua sự suy giảm một số thành phần dinh dưỡng, hợp chất hoạt tính sinh học, độ ổn định hệ phân tán và chất lượng cảm quan, trong khi các chỉ tiêu vi sinh vẫn nằm trong giới hạn an toàn theo quy định. Sản phẩm duy trì chất lượng tốt trong 10 ngày bảo quản lạnh, đây là thời hạn sử dụng được đề xuất trong điều kiện nghiên cứu. Kết quả góp phần bổ sung cơ sở khoa học cho việc xác định thời hạn sử dụng và phát triển các sản phẩm sữa thực vật từ nguồn nguyên liệu trong nước. Các nghiên cứu tiếp theo cần đánh giá thêm ảnh hưởng của chế độ thanh trùng, bao bì và điều kiện bảo quản khác nhau để hoàn thiện quy trình công nghệ.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được cấp kinh phí bởi Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh theo hợp đồng số 252/HĐ-DCT, ngày 01 tháng 07 năm 2025.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ken Research (2025). Vietnam Plant-Based Beverages Market.
- [2]. S. Asokapandian, E. Hasker, G. Swamy, S. Shahir and H. P. Khakha (2026). Plant-based dairy alternatives: Trends, opportunities and challenges, in sustainable plant foods. *Elsevier*, pp. 133 - 166. DOI: 10.1016/B978-0-443-31652-4.00007-6.
- [3]. N. Zahra and S. Jabeen (2020). Brown rice as useful nutritional source. *ResearchersLinks Ltd.* DOI: 10.17582/journal.pjar/2020/33.3.445.453.
- [4]. P. Goufo and H. Trindade (2014). Rice antioxidants: Phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, proanthocyanidins, tocopherols, tocotrienols, γ - oryzanol, and phytic acid. *Food Science & Nutrition*, 2(2), 75 - 104. DOI: 10.1002/fsn3.86.
- [5]. R. Rico, M. Bulló and J. Salas-Salvadó (2016). Nutritional composition of raw fresh cashew (*Anacardium occidentale* L.) kernels from different origin. *Food Science & Nutrition*, 4(2), 329 - 338. DOI: 10.1002/fsn3.294.
- [6]. W. Pan, Z. Zheng, P. Li, Z. Ai, and Y. Liu (2023). Effects of enzymatic modification on the stability of cashew-based milk. *Food & Function*, 14(17), 7946 - 7958. DOI: 10.1039/D3FO01013A.
- [7]. S. C. and P. R. M. Ketnawa (2012). Pineapple wastes: A potential source for bromelain extraction. *Food and Bioproducts Processing*, 90(3), 385 - 391. DOI:10.1016/j.fbp.2011.12.006.
- [8]. J. R. Lima, L. M. Bruno, N. J. Wurlitzer, P. H. M. de SOUSA and S. A. de M. Holanda (2021). Cashew nut-based beverage: Development, characteristics and stability during refrigerated storage. *Food Science and Technology (Brazil)*, 41, 60 - 64. DOI: 10.1590/fst.33819.
- [9]. Mạc Xuân Hòa, Nguyễn Thị Thảo Minh (2018). Nâng cao tính ổn định của sữa hạt điều bằng phụ gia thực phẩm và đồng hóa áp suất cao. *Tạp chí Khoa học, Công nghệ và Thực phẩm*, 17 (1), 57 - 65.
- [10]. V. T. Pham, T. K. L. Le, D. N. Vu, T. Y. N. Tran, L. G. Bach, and T. P. Dao (2024). Changes of physicochemical, bioactive compounds and antioxidant activity of nutritional beverages products from VD20 broken Rice in the pasteurization process. *Food Chemistry: X*, 24, 102018. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.102018.
- [11]. Y.-S. Lin *et al.* (2020). Effects of storage time and temperature on antioxidants in Juice from *Momordica charantia* L. and *Momordica charantia* L. var. *abbreviata* Ser. *Molecules*, 25(16), 3614. DOI: 10.3390/molecules25163614.
- [12]. D. Daryani, K. Pegua and S. S. Aryaa (2024). Review of plant-based milk analogue: its preparation, nutritional, physicochemical, and organoleptic properties. *The Korean Society of Food Science and Technology*, 1059-1073. DOI: 10.1007/s10068-023-01482-z.
- [13]. B. Sharma, R. Keast, D. G. Liem, Y. Nolvachai and A. Costanzo (2025). Impact of protein on sensory attributes and liking of plant-based milk alternatives. *Food Quality and Preference*, 133, 105617. DOI: 10.1016/j.foodqual.2025.105617.
- [14]. H. T. H. H. Lawless (2010). Sensory evaluation of food principles and practices. Springer New York Dordrecht Heidelberg London.
- [15]. P. Vijayakumar and A. Adediji (2017). Measuring the pH of food products [Online]. Available: webpal.org/SAFE/. [Accessed: Mar. 05, 2026].
- [16]. S. S. Nielsen (2026). Food Analysis Laboratory Manual, 2nd ed. [Online]. Available: www.springer.com/series/5999. [Accessed: Mar. 06, 2026].
- [17]. M. Dubois, K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers, and F. Smith (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350 - 356.
- [18]. W. Chen, L. Gao, L. Song, M. Sommerfeld and Q. Hu (2023). An improved phenol-sulfuric acid method for the quantitative measurement of total carbohydrates in algal biomass. *Algal Research*, 70, 102986. DOI: 10.1016/J.ALGAL.2023.102986.
- [19]. V. L. Singleton and J. A. Rossi (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144 - 158.
- [20]. A. Xie *et al.* (2023). A review of plant-based drinks addressing nutrients, flavor, and

processing technologies. *Foods*, 12, 213952. DOI: 10.3390/foods12213952.

[21]. W. Brand-Williams, M. E. Cuvelier, and C. Berset (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25 - 30. DOI: 10.1016/S0023-6438(95)80008-5.

[22]. M. M. Giusti and R. E. Wrolstad (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by uv-visible spectroscopy, in current protocols in food analytical chemistry. *New York, NY, USA: John Wiley & Sons*, pp. F1.2.1 - F1.2.13.

[23]. H. H. K. Lichtenthaler (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Academic Press, New York*, 350 - 382. DOI: 10.1016/0076-6879(87)48036-1.

[24]. J. A. Buege and S. D. Aust (1978). Microsomal lipid peroxidation. *Academic Press, New York*, 302 - 310. DOI: 10.1016/S0076-6879(78)52032-6.

[25]. D. J. McClements (2016). *Food Emulsions principles, practices, and techniques*, 3rd ed. CRC Press.

[26]. Tiêu chuẩn quốc gia Việt Nam. TCVN 4884-1:2015 - *Vi sinh vật trong chuỗi thực phẩm - Định lượng vi sinh vật hiếu khí*.

[27]. Tiêu chuẩn quốc gia Việt Nam. TCVN 6848:2007 - *Vi sinh vật trong thực phẩm - Định lượng Coliforms*.

[28]. Tiêu chuẩn quốc gia Việt Nam. TCVN 8275-1:2010 - *Vi sinh vật trong thực phẩm - Định lượng nấm men và nấm mốc*.

[29]. I. Kurbanova *et al.* (2024). Physicochemical, sensory, and microbiological analysis of fermented drinks made from white kidney bean extract and cow's milk blends during refrigerated storage. *Microorganisms*, 12(9), 1832. DOI: 10.3390/microorganisms12091832.

[30]. A. Ali, C. Chong, S. Mah, L. Abdullah, T. Choong, and B. Chua (2018). Impact of storage conditions on the stability of predominant phenolic constituents and antioxidant activity of dried piper betle extracts. *Molecules*, 23(2), 484. DOI: 10.3390/molecules23020484.

EVALUATION OF QUALITY CHANGES IN CASHEW NUT-RED BROWN RICE MILK SUPPLEMENTED WITH PINEAPPLE JUICE DURING REFRIGERATED STORAGE

Dang Thuy Mui¹, Tran Thi Phuong Kieu¹, Tran Thi Hong Chau¹

¹ Faculty of Tourism and Culinary Arts, HCM University of Industry and Trade (HUIT)

Abstract

This study aimed to evaluate the quality changes of a cashew nut - brown rice beverage supplemented with pineapple juice during refrigerated storage (4 - 6°C) over 15 days. The investigated parameters included nutritional composition, bioactive compounds, lipid oxidation, emulsion stability, microbiological quality, and sensory attributes. Results showed that total sugars, protein and lipids slightly decreased (4 - 6%), while bioactive compounds declined more significantly, particularly anthocyanins (17%) and carotenoids (13%). In contrast, lipid oxidation indices (AV, PV and TBARS) increased markedly (70 - 80%), indicating progressive oxidative degradation. Emulsion stability deteriorated, with viscosity decreasing by 11%, emulsion stability by 6 - 7% and phase separation increasing substantially. These changes were closely associated with sensory deterioration, especially in texture and taste (20 - 24% reduction). Microbiological analysis indicated that the product remained stable during the first 10 days, while yeast and mold appeared at low levels by day 15. The results demonstrate that quality degradation is mainly governed by lipid oxidation, degradation of bioactive compounds, and destabilization of the colloidal - emulsion system. Recommended shelf life of 10 days under refrigerated conditions is recommended to ensure overall product quality.

Keywords: Refrigerated storage, antioxidant activity (DPPH), pineapple juice, cashew nut-red brown rice milk, plant-based milk.

Ngày nhận bài: 6/4/2026

Ngày chuyển phản biện: 28/4/2026

Ngày thông qua phản biện: 26/5/2026

Ngày duyệt đăng: 30/6/2026