Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ
Số chuyên đề: Nông nghiệp bền vững vì an ninh lương thực và an toàn thực phẩm
ISSN 1859-2333 | e-ISSN 2815-5599

DOI:10.22144/ctujos.2025.218

SẢN XUẤT PHÔ MAI TƯƠI TỪ SỮA HOÀN NGUYÊN BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐÔNG TỤ VỚI RENNET VÀ ACID CITRIC

Phạm Thị Hoàn và Trịnh Khánh Sơn*
Khoa Công nghệ Hóa học và Thực phẩm, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam
**Tác giả liên hệ (Corresponding author): sontk@hcmute.edu.vn*

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 16/06/2025
Sửa bài (Revised): 17/09/2025
Duyệt đăng (Accepted): 24/10/2025

Title: *Production of fresh cheese from recombined milk using rennet and citric acid coagulation*

Author: *Pham Thi Hoan and Trinh Khanh Son**

Affiliation(s): *Faculty of Chemical and Food Technology, Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Viet Nam*

TÓM TẮT

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm xây dựng quy trình sản xuất phô mai tươi từ sữa hoàn nguyên bằng phương pháp đông tụ với rennet và acid citric. Ảnh hưởng của các yếu tố, bao gồm độ pH (nồng độ acid citric), nhiệt độ và nồng độ rennet trong quá trình đông tụ hỗn hợp sữa đến chất lượng phô mai tươi được khảo sát. Kết quả thực nghiệm cho thấy thực hiện đông tụ sữa với dung dịch acid citric 0,1% (pH 5,94), ở 37°C và nồng độ rennet 0,04% cho phô mai có năng suất (21,53%) và hiệu suất thu hồi chất khô (53,25%) tốt hơn các mẫu thử nghiệm khác. Mẫu phô mai nghiên cứu (mẫu RS) có hàm lượng protein, lipid, carbohydrate, tro và độ ẩm đạt lần lượt là 18,5%, 3,72%, 8,54%, 1,94% và 67,3%. Mẫu RS ít tách huyết thanh hơn và kết cấu rắn chắc hơn so với phô mai đông tụ hoàn toàn bằng acid citric (mẫu CS) trong suốt quá trình bảo quản. Kết quả đánh giá cảm quan cho thấy mẫu RS có điểm kết cấu (4,00/5,00) và hương vị (4,20/5,00) đạt chất lượng cao hơn so với mẫu đối chứng CS (3,40 và 3,20). Kết quả nghiên cứu cho thấy phô mai tươi sản xuất từ sữa hoàn nguyên có tiềm năng sản xuất tại các khu vực có nguồn sữa tươi hạn chế như Việt Nam.

Từ khoá: *Cottage cheese, phô mai tươi, rennet, sữa bột*

ABSTRACT

This study was conducted to develop a production process for fresh cheese from recombined milk using rennet and citric acid coagulation. The effects of factors, including citric acid concentration, temperature, and rennet concentration during milk coagulation, on the quality of fresh cheese were investigated. The experimental results showed that milk coagulation with 0.1% citric acid solution (pH 5.94), at 37°C, and a rennet concentration of 0.04% produced cheese with the better yield (21.53%) and cheese solid yield (53.25%) than the other samples. The experimental cheese sample (RS) had protein, lipid, carbohydrate, ash, and moisture contents of 18.5%, 3.72%, 8.54%, 1.94% and 67.3%, respectively. The RS sample exhibited less syneresis and a firmer texture compared with the citric acid-coagulated cheese (CS) throughout the storage period. Sensory evaluation indicated that the RS sample achieved higher scores for texture (4.00/5.00) and flavor (4.20/5.00) than the control CS sample (3.40 and 3.20, respectively). The study concluded that the studied fresh cheese produced from recombined milk has potential for production in areas with limited fresh milk resources, such as Vietnam.

Keywords: *Cottage cheese, fresh cheese, milk powder, rennet*

1. GIỚI THIỆU

Phô mai là một sản phẩm từ sữa phổ biến được sản xuất rộng rãi trên toàn thế giới, với hàng ngàn loại khác nhau (Walstra et al., 2006). Việc sản xuất phô mai truyền thống đòi hỏi nguồn sữa tươi dồi dào, điều này gây ra thách thức ở các khu vực có nguồn sữa tươi hạn chế hoặc không ổn định. Để khắc phục hạn chế này, việc sử dụng sữa hoàn nguyên, được tái tạo từ sữa bột gầy và kem bột, đã nổi lên như một giải pháp thay thế khả thi. Phương pháp này có tiềm năng nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên, giảm chi phí sản xuất và đảm bảo chất lượng phô mai. Sữa hoàn nguyên được tạo thành bằng cách phối trộn sữa bột khô, bột kem và nước để tạo ra sản phẩm có thành phần tương tự như sữa tươi (Walstra et al., 2006). Phương pháp này mang lại sự linh hoạt trong sản xuất phô mai, đặc biệt ở các khu vực có nguồn cung sữa tươi không ổn định hoặc hạn chế, như Việt Nam.

Theo báo cáo thống kê của statista, sản lượng sữa tươi của Việt Nam trong những năm gần đây đã gia tăng, đạt hơn 1,86 tỷ lít vào năm 2023. Tuy nhiên, con số này vẫn chỉ đáp ứng một phần nhu cầu trong nước (Statista, 2025a). Thị trường phô mai tại Việt Nam cũng đang tăng trưởng, với khối lượng dự kiến đạt 17,70 triệu kg vào năm 2028. Ngành công nghiệp chế biến sữa đang ghi nhận mức tăng trưởng về khối lượng là 1,9% vào năm 2025, cho thấy nhu cầu tiêu thụ phô mai đang gia tăng (Statista, 2025b). Do đó, việc áp dụng các đổi mới trong phát triển sản phẩm từ sữa bột có thể đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng về sản phẩm này.

Dựa trên phương pháp đông tụ, phô mai tươi chủ yếu được chia thành: phô mai đông tụ bằng acid (ví dụ như Quark, Cream cheese và các loại phô mai Bắc Mỹ như Chakka, Labneh); phô mai đông tụ bằng acid /nhiệt, bao gồm Ricotta (Ý), Chhena và Paneer (Ấn Độ), Mascarpone; phô mai đông tụ bằng rennet (Queso Blanco, Quesco Fresco, Halloumi, Cottage cheese) (Fox et al., 2017). Phô mai tươi đông tụ bằng rennet thường cứng hơn các loại phô mai khác vì sự tương tác giữa acid và rennet mang lại khả năng thoát huyết thanh tốt hơn so với phô mai đông tụ bằng acid (Horne & Lucey, 2017; Li & Zhao, 2019; Nájera et al., 2003). Phô mai có khả năng thoát huyết thanh tốt hơn, dẫn đến hàm lượng ẩm thấp hơn và phần đông tụ cứng hơn, từ đó cải thiện kết cấu phô mai. Độ pH cao của phô mai đông tụ bằng rennet cũng mang lại hương vị ít chua hơn trong sản phẩm cuối cùng (Nájera et al., 2003). Ngoài ra, phô mai đông tụ bằng rennet có ưu thế hơn so với phô mai đông tụ bằng acid về mặt cảm quan (Li & Zhao, 2019).

Mặc dù có nhiều nghiên cứu về sản xuất phô mai từ sữa tươi được thực hiện, nhưng các nghiên cứu về việc sản xuất phô mai từ sữa hoàn nguyên bằng phương pháp đông tụ rennet và acid còn hạn chế, đặc biệt là trong bối cảnh các quốc gia có nguồn sữa tươi hạn chế như Việt Nam. Một số nghiên cứu gần đây khi được tiến hành đã tập trung vào việc phát triển các sản phẩm phô mai từ sữa thực vật hoặc sữa hỗn hợp để giải quyết các vấn đề về tính bền vững và sức khỏe (Tipvarakarnkoon et al., 2017). Tuy nhiên, việc xác định các điều kiện sản xuất phô mai từ sữa hoàn nguyên để đạt được năng suất và chất lượng tối ưu vẫn là một khoảng trống cần được nghiên cứu.

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm mục đích phát triển một quy trình sản xuất phô mai tươi từ sữa hoàn nguyên sử dụng phương pháp đông tụ rennet kết hợp với acid. Chúng tôi tập trung vào việc khảo sát ảnh hưởng của các yếu tố chính như độ pH, nhiệt độ và nồng độ rennet trong quá trình đông tụ dịch sữa đến năng suất và đặc tính cấu trúc của phô mai tươi. Sản phẩm phô mai nghiên cứu được so sánh với phô mai đông tụ hoàn toàn bằng acid citric (mẫu CS). Kết quả của nghiên cứu này dự kiến sẽ cung cấp những thông số công nghệ có giá trị cho việc sản xuất phô mai tươi chất lượng từ sữa hoàn nguyên, đặc biệt ở những vùng có nguồn sữa tươi hạn chế.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên liệu

Nguyên liệu dùng để sản xuất phô mai tươi bao gồm sữa hoàn nguyên được pha từ sữa bột gầy và kem bột, rennet và acid citric. Sữa bột gầy được sản xuất bởi công ty Fonterra Ltd., với hàm lượng protein là 32,59 ± 0,03%, lipid 0,98 ± 0,01%, độ ẩm 3,74 ± 0,01%, carbohydrate 52,86 ± 0,02% và tro 1,72 ± 0,04%. Kem bột được sản xuất bởi NBC Food Industries Sdn. Bhd., với hàm lượng chất béo là 22,5 ± 0,08%, carbohydrate 69,14 ± 0,05%, protein 4,54 ± 0,02% và tro 1,31 ± 0,07%. Rennet Naturen Extra 220 được sản xuất bởi công ty Chr. Hansen, Đan Mạch. Acid citric dạng bột có độ ẩm không vượt quá 0,5%.

2.2. Quy trình sản xuất phô mai tươi

Quy trình sản xuất phô mai được thực hiện theo sơ đồ Hình 1. Ban đầu, từ hàm lượng chất khô của sữa bột gầy và kem bột, chúng tôi đã ước tính lượng nguyên liệu cần hoàn nguyên theo công thức (1) để định lượng nguyên liệu sao cho hàm lượng chất khô trong sữa hoàn nguyên đạt 15% (gồm 12,5% chất

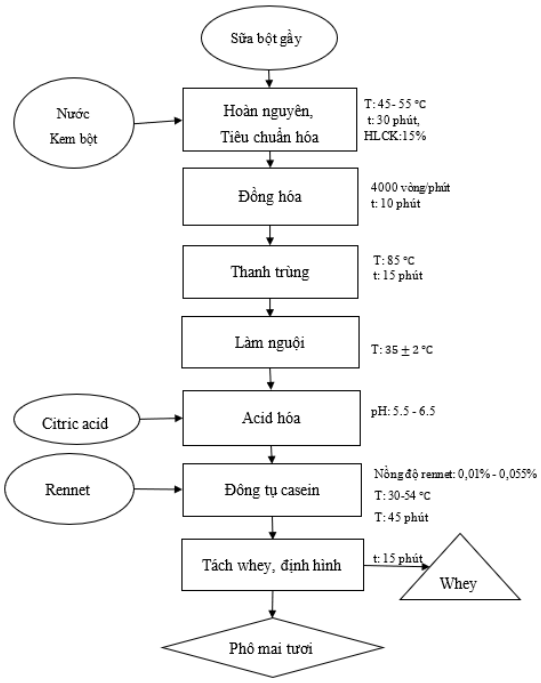
khô từ sữa bột gầy và 2,5% chất khô từ kem bột). Mỗi mẻ phô mai tươi nghiên cứu được sản xuất từ 300 g sữa hoàn nguyên. Như vậy, theo tính toán, cần phối trộn khoảng 39 g bột sữa gầy và 9g kem bột vào 252 g nước ở 45 – 50°C, sau đó để yên trong 30 phút cho đến khi các thành phần được tan hoàn toàn.

$$m_{ngl} = \frac{100 \times CK_{mm}}{CK_{ngl}}, \quad (1)$$

Trong đó, m_{ngl} – khối lượng nguyên liệu (sữa bột gầy hoặc kem bột) cần sử dụng, CK_{ngl} là hàm lượng chất khô trong nguyên liệu tương ứng, CK_{mm}- là hàm lượng chất khô mong muốn đạt được sau khi hoàn nguyên sữa bột gầy và kem bột lần lượt là 12,5% và 2,5%. Sản phẩm sữa hoàn nguyên có thành phần protein, lipid, carbohydrate, tro và độ ẩm lần lượt là 4,37 ± 0,03%, 0,86 ± 0,16%, 9,12 ± 0,06%, 0,87 ± 0,08% và 84,92 ± 0,07%, tức hàm lượng chất khô đạt 15,08%.

Tiếp theo, sữa hoàn nguyên được đồng nhất bằng máy phân tán IKA ở tốc độ 4000 vòng/phút trong 10 phút. Sau khi đồng nhất, sữa được thanh trùng ở 85°C trong 15 phút (Şanlı et al., 2011). Sữa thanh trùng sau đó được làm nguội đến nhiệt độ phòng (30±2°C). Để điều chỉnh pH, 10 mL dung dịch acid citric với các nồng độ khác nhau (0,05%, 0,1%, 0,15%, 0,2%, 0,25% v/v) được thêm vào dịch sữa (pH giảm khoảng từ 6,5 đến 5,5 theo bảng 1). Trong thí nghiệm này, quá trình đông tụ casein được thực hiện với nồng độ rennet 0,025% tại 37°C. Các mẫu phô mai được đặt tên lần lượt là CA05, CA10, CA15, CA20 và CA25. Sau đó, rennet được thêm vào sữa với các mức nồng độ 0,01%; 0,025%; 0,04% và 0,055% v/v (các mẫu phô mai được ký hiệu lần lượt là E01, E025, E04 và E055). Hỗn hợp sau đó được ủ ở các nhiệt độ khác nhau là 30°C, 37°C, 45°C và 54°C trong 45 phút (các mẫu phô mai được ký hiệu lần lượt là T30, T37, T45 và T54). Mẫu phô mai đối chứng CS được sản xuất theo quy trình Hình 1 nhưng không bổ sung rennet mà được đông tụ hoàn toàn bằng dung dịch acid citric 0,1% tại pH 4,6.

Quá trình đông tụ được tiếp nối bằng tách huyết thanh (whey) và định hình thành dạng trụ tròn (đường kính Ø = 5,0 cm, chiều cao h = 2,0 cm) với các lỗ thoát (Ø = 2,0 mm) trên thành khuôn. Bên trong khuôn được lót một lớp vải mỏng, đáy khuôn được bịt kín trước khi nhẹ nhàng đổ khối đông tụ vào để thoát huyết thanh trong khoảng 10 – 15 phút. Khi huyết thanh ngừng thoát ra, khối đông được ép bằng một khối kim loại hình trụ có trọng lượng một kilogram trong khoảng 15 phút. Sản phẩm cuối cùng được thu gom và bảo quản lạnh ở nhiệt độ 4±2°C.



Hình 1. Quy trình sản xuất phô mai tươi

Trong tất cả các thí nghiệm trên, các tiêu chí chất lượng như năng suất phô mai, hàm lượng chất khô trong huyết thanh (TSwhey), hàm lượng chất khô trong phô mai (TScheese), năng suất chất rắn phô mai (CSY) và việc phân tích đặc điểm cấu trúc phô mai đều được xác định.

2.3. Phương pháp

Năng suất phô mai (H, %) được xác định để đánh giá hiệu quả kinh tế của quá trình sản xuất phô mai (công thức (2)). *Năng suất chất rắn phô mai* (CSY, %) được xác định là tỷ lệ giữa tổng lượng chất khô trong phô mai thành phẩm với tổng lượng chất khô trong sữa nguyên liệu (Salinas-Valdés et al., 2015) và được tính theo công thức (3):

$$H = \frac{m_{cheese}}{m_{milk}} \times 100, \quad (2)$$

Trong đó, m_{cheese} là khối lượng phô mai, g; m_{milk} là khối lượng sữa hoàn nguyên, g.

$$CSY = \frac{CK_{cheese}}{CK_{milk}} \times H, \quad (3)$$

Trong đó, CK_{cheese} là hàm lượng chất khô trong sản phẩm phô mai, %; CK_{milk} là hàm lượng chất khô trong sữa hoàn nguyên, %.

Độ tách whey (Wh, %) được xác định theo phương pháp của Dmytrów et al. (2010). Khối phô mai (m_{cheese}) được cân chính xác và đặt trong các túi zip-lock. Lượng huyết thanh (m_{whey}) thoát ra

được ghi nhận sau 20 giờ ở 25°C. Phần trăm huyết thanh tách ra được tính như sau:

$$Wh = \frac{m_{whey}}{m_{cheese}} \times 100, \quad (4)$$

Đặc điểm kết cấu phô mai được phân tích để đánh giá độ cứng (Firmness - lực tối đa trong lần nén đầu tiên, g), độ đàn hồi (Springiness - tỷ lệ hồi phục chiều cao mẫu sau lần nén thứ hai so với lần đầu, mm), độ bám dính (Adhesiveness - diện tích lực âm khi đầu dò rút ra khỏi mẫu, mJ) của các mẫu phô mai. Mẫu phô mai được cắt thành hình trụ (Ø = 20 mm, chiều cao = 20 mm) và bảo quản trong hộp kín ở 4 ± 2°C. Trước khi phân tích kết cấu, mẫu được để ở 25°C trong 30 phút. Sau đó mẫu được phân tích kết cấu bằng thiết bị Brookfield CT3-4500 Texture Analyzer. Các thông số đo bao gồm tốc độ đo 1,0 mm/s, lực kích hoạt 5,0 g, thời gian hồi phục 5 giây và khoảng cách nén 3,0 mm, đầu dò hình trụ TA-AACC36 (Ø = 36 mm) và chân đế TA-BT-KIT đã được sử dụng (Buriti et al., 2005).

Màu sắc của mẫu phô mai được xác định theo không gian màu Lab (Tarlak et al., 2016) và máy đo màu CR-400 (Minolta, Nhật Bản) đã được sử dụng. L* biểu thị giá trị sáng từ đen (0) đến trắng (100). a* là thành phần sắc độ từ xanh lá cây (-) đến đỏ (+). b* là thành phần sắc độ từ xanh dương (-) đến vàng (+). Máy đo màu được hiệu chuẩn trước khi đo bằng mẫu chuẩn. *Độ lệch màu* (ΔE) giữa mẫu phô mai nghiên cứu (RS) và mẫu đối chứng CS được tính bằng công thức (5):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2} \quad (5)$$

Trong đó: $\Delta a^* = a^*_{RS} - a^*_{CS}$, $\Delta b^* = b^*_{RS} - b^*_{CS}$, $\Delta L^* = L^*_{RS} - L^*_{CS}$. Dựa trên giá trị ΔE, sự khác biệt màu sắc giữa các mẫu được diễn giải như sau: Nếu 0 < ΔE < 1,5: Người quan sát không nhận thấy sự khác biệt màu; nếu 1,5 < ΔE < 2: chỉ những người có kinh nghiệm mới có thể nhận ra sự khác biệt; nếu 2 < ΔE < 3,0: người quan sát không chuyên có thể nhận thấy sự khác biệt; nếu ΔE > 3,0: có sự khác biệt màu rõ ràng giữa hai mẫu (Mokrzycki WS, 2011).

Đặc điểm vi cấu trúc của phô mai mềm được phân tích bằng kính hiển vi điện tử quét (scanning electron microscopy - SEM) dựa theo nghiên cứu của Rovira et al. (2011). Mục tiêu là so sánh được sự khác biệt trong cấu trúc vi mô giữa các mẫu phô mai. Các mẫu phô mai được cắt thành hình trụ (Ø = 0,5 cm, h = 0,5 cm) và được cố định trong dung dịch glutaraldehyde đệm 2% (đệm phosphate 0,1M, pH 7,2, trong 6 giờ). Sau đó, mẫu được khử nước trong dãy dung dịch ethanol với nồng độ tăng dần (50, 60, 70, 80, 90 và 96%, mỗi nồng độ trong 30 phút) và tiếp tục được ngâm trong acetone tinh khiết trong 1 giờ. Các mẫu sau đó được sấy thăng hoa (Yamato DC-401, Nhật Bản, 10–20 Pa, 24 giờ). Sau đó, mẫu được gắn vào giá đỡ và chụp ảnh bằng máy TM4000PLUS (Nhật Bản). Các điều kiện quan sát bao gồm: điện áp gia tốc (chế độ tiêu chuẩn 15 kV, Mode 2), mức chân không (high), và đầu dò BSE.

Đánh giá cảm quan được thực hiện theo tiêu chuẩn ISO 22935-3:2009 bởi một hội đồng gồm bảy người được đào tạo. Mỗi thành viên đánh giá độc lập bốn chỉ tiêu cảm quan (ngoại quan, kết cấu, mùi, vị) theo thang cảm quan thứ tự từ 1 (thấp) đến 5 (cao). Việc đánh giá được thực hiện trong các buồng kiểm tra riêng biệt dưới ánh sáng huỳnh quang. Các mẫu được mã hóa bằng ba chữ số ngẫu nhiên. Phòng kiểm tra được làm sạch và không có mùi lạ. Kết quả đánh giá cảm quan là giá trị trung bình kết quả đánh giá của các thành viên hội đồng.

Hàm lượng protein và tổng hàm lượng chất khô được xác định lần lượt theo tiêu chuẩn ISO 8968-1:2014 và ISO 13580:2005. Phương pháp Mojonnier được áp dụng theo ISO 1736:2008 để xác định hàm lượng béo trong sữa, trong khi hàm lượng béo trong phô mai được phân tích theo ISO 1735:2004. *Listeria monocytogenes* được phát hiện theo ISO 11290-2:1998. *Staphylococci* dương tính với coagulase được xác định theo ISO 6888-1:1999, AMD 1:2003.

Dữ liệu được biểu diễn dưới dạng giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn. Dữ liệu thực nghiệm được phân tích thống kê bằng phương pháp phân tích phương sai ANOVA và sử dụng kiểm định Tukey để đánh giá sự khác biệt giữa các giá trị trung bình với mức ý nghĩa 0,05 trên phần mềm SPSS Statistics 20 (SPSS Inc., IL, USA).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

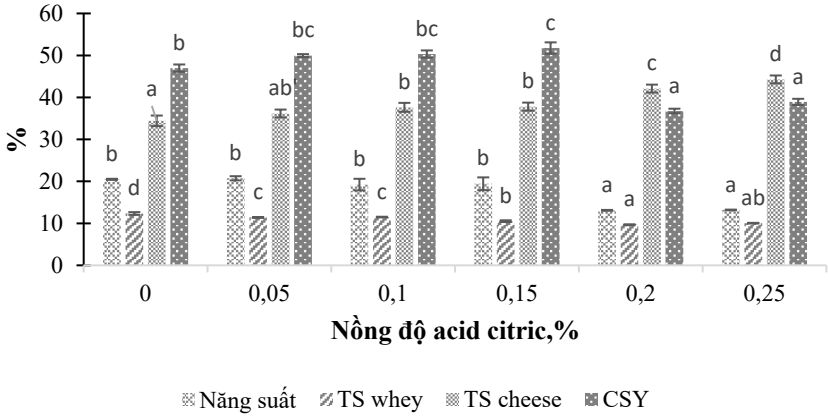
3.1. Ảnh hưởng của nồng độ acid citric đến chất lượng phô mai

Quá trình acid hóa là bước quan trọng ảnh hưởng đến chất lượng phô mai. Lượng acid bổ sung làm giảm pH của dung dịch sữa và ảnh hưởng đến hoạt tính của enzyme, từ đó tác động đến quá trình đông tụ casein. Các dung dịch acid citric với các nồng độ khác nhau từ 0% đến 0,25% được thêm vào hỗn hợp sữa tạo các giá trị pH khác nhau giảm từ 6,53 xuống 5,49 (Bảng 1). Ảnh hưởng của nồng độ acid citric đến các đặc tính chất lượng của phô mai như năng suất, hàm lượng chất khô, kết cấu và pH của phomai được trình bày lần lượt trong Hình 2 và Bảng 1.

Năng suất phô mai duy trì ở khoảng 20% như được thể hiện trong Hình 2, khi nồng độ acid citric tăng từ 0% đến 0,15% (pH giảm từ 6,53 xuống 5,72). Tuy nhiên, việc tăng thêm nồng độ acid citric từ 0,15% đến 0,25% dẫn đến giảm năng suất phô mai còn 13,19%. Đồng thời, chất khô trong huyết thanh (TS whey) giảm từ 13,34% xuống còn 10,04±0,08%, trong khi chất khô trong phô mai (TS cheese) tăng từ 34,42% lên 44,28%. Điều này cho thấy việc giảm pH của sữa từ 6,53 đến 5,49 đã làm giảm sự thất thoát chất khô trong quá trình sản xuất phô mai. Nồng độ acid citric từ 0,05% đến 0,15% (tương ứng với khoảng pH từ 6,21 đến 5,72) cho hiệu quả tốt nhất về năng suất chất rắn phô mai (CSY). Khi nồng độ acid citric tăng từ 0,15% lên 0,25% (với pH giảm từ 5,72 xuống 5,49), năng suất phô mai, TS whey và CSY đều giảm, trong khi TS cheese tăng do hàm lượng ẩm thấp hơn trong phô mai.

Rennet, chủ yếu là enzyme chymosin, được báo cáo hoạt động hiệu quả ở pH 6,0 (Fox et al., 2017; Horne & Lucey, 2017). Lucey (2002) cho thấy hoạt tính của rennet tăng khi pH giảm. Do đó, quá trình thủy phân k-casein tăng lên, làm phá vỡ nhiều liên kết Phe105-Met106 hơn, dẫn đến giải phóng đoạn caseinomacropeptide vào pha huyết thanh. Canxi hòa tan từ khối đông tụ phô mai cũng bị giải phóng vào huyết thanh, làm giảm hàm lượng canxi trong phô mai (Lucey et al., 1998), từ đó làm giảm năng suất phô mai và CSY. Ngoài ra, năng suất phô mai không chỉ phụ thuộc vào hàm lượng protein và chất béo trong sữa mà còn phụ thuộc vào độ ẩm còn lại trong phô mai sau khi tách huyết thanh (Cipolat-Gotet et al., 2013). Nói cách khác, hàm lượng ẩm thấp hơn trong phô mai là nguyên nhân chính gây giảm năng suất. Kết quả trong nghiên cứu này cũng phù hợp với kết luận của Li and Zhao (2019).

Bảng 1 cho thấy ảnh hưởng của nồng độ acid citric đến kết cấu phô mai. Phô mai được sản xuất ở pH cao (6,53) có độ cứng thấp hơn (256,17 g) và độ đàn hồi cao hơn (4,05 mm) so với phô mai sản xuất ở pH thấp (pH 5,49; độ cứng đạt 813,67 g và độ đàn hồi đạt 2,27 mm) ($p < 0,05$). Độ pH càng giảm thì độ bám dính của phô mai cũng giảm, tuy nhiên, khoảng pH nghiên cứu không làm giảm đáng kể đến độ bám dính của phô mai. Sự gia tăng độ cứng của phô mai có thể là do sự gia tăng cấu trúc mạng lưới protein và sự liên kết trong ma trận protein khi hàm lượng chất khô tăng lên.



Hình 2. Ảnh hưởng của acid citric tới chất lượng phô mai tươi

Những chữ cái khác nhau chỉ sự khác nhau giữa các mẫu (p < 0,05) trong cùng chỉ tiêu.

Bảng 1. Ảnh hưởng của nồng độ acid citric đến đặc điểm kết cấu của phô mai

Mẫu	pH	Độ cứng, g	Độ đàn hồi, mm	Độ bám dính, mJ
CA0	6,53±0,04^{f}	256,17±2,08^{a}	4,05±0,77^{c}	0,05 ± 0,01^{b}
CA05	6,21±0,02^{e}	299,00±4,82^{b}	3,54±1,39^{bc}	0,05 ± 0,01^{b}
CA10	5,94±0,03^{d}	306,83±7,69^{b}	2,73±0,05^{ab}	0,04 ± 0,01^{ab}
CA15	5,72±0,03^{c}	336,00±5,57^{c}	2,70±0,02^{ab}	0,04 ± 0,01^{ab}
CA20	5,61±0,01^{b}	750,67±5,11^{d}	2,44±0,11^{ab}	0,03 ± 0,01^{a}
CA25	5,49±0,04^{a}	813,67±7,52^{e}	2,27±0,06^{a}	0,03 ± 0,01^{a}

Trong mỗi cột, những chữ cái (a-f) khác nhau chỉ sự khác biệt có nghĩa giữa các mẫu (p < 0,05).

3.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ ủ enzyme đến chất lượng phô mai

Kết quả phân tích (Bảng 2 và Bảng 3) cho thấy nhiệt độ ủ enzyme có tác động đến một số chỉ tiêu chất lượng và đặc tính kết cấu phô mai tươi ($p < 0,05$). Ở nhiệt độ từ 30 đến 37 °C, năng suất phô mai đạt mức cao (≈ 20%), cho thấy quá trình đông tụ diễn ra thuận lợi trong khoảng nhiệt gần tối ưu hoạt tính của enzyme rennet (35 – 40°C) (Hamouda & Salunke, 2024; Horne & Lucey, 2017). Tại 37 °C, giá trị TS whey thấp nhất (10,16%) trong khi CSY cao nhất (48,65%), phản ánh sự đông tụ protein hiệu quả và khả năng giữ chất khô tốt trong khối phô mai. Khi tăng nhiệt độ lên 45 °C, năng suất có xu hướng giảm nhẹ (19,11%) và TS whey tăng lên (11,06%), cho thấy hiệu quả giữ chất khô bắt đầu giảm. Tuy nhiên, TS cheese vẫn duy trì mức cao (36,88%), chứng tỏ hàm lượng chất khô trong khối phô mai vẫn được giữ ổn định. Ở mức 54 °C, năng suất giảm mạnh (15,87%), TS whey đạt giá trị cao nhất (11,48%) trong khi CSY thấp nhất (41,77%). Điều này có thể giải thích do hoạt tính của enzyme rennet bị suy giảm đáng kể ở nhiệt độ cao, làm hạn chế quá trình thủy phân κ-casein, dẫn đến mạng gel yếu, khả năng giữ nước kém, từ đó gia tăng thất thoát chất khô vào whey (Hamouda & Salunke, 2024; Hovjecki et al., 2022). Tuy nhiên, TS cheese lại cao nhất (39,49%), có thể do lượng nước thoát ra nhiều hơn, làm khối phô mai trở nên "đặc" hơn về hàm lượng chất khô.

Khi tăng nhiệt độ đông tụ độ cứng của các mẫu phô mai tăng từ 343,50 đến 782,67 g. Tuy nhiên, độ đàn hồi thay đổi rất ít và độ bám dính gần như không thay đổi ($p > 0,05$). Sự gia tăng độ cứng của phô mai chủ yếu là do tương tác kỵ nước tăng cường giữa các micelle casein và sự sắp xếp lại protein (van Vliet & Walstra, 1994). Các vùng kỵ nước của casein làm chậm tương tác với các phân tử H_2O, dẫn đến giảm năng lượng entropy có lợi cho sự tự liên kết. Do ảnh hưởng của nhiệt độ đến sự thay đổi entropy, sự tự liên kết tăng theo nhiệt độ khi tính di động của proton tăng lên và lực đẩy tĩnh điện giảm với lượng liên kết canxi (Horne & Lucey, 2017). Nhiệt độ thích hợp cho hoạt động của rennet trong nghiên cứu này là 37°C, vì tại mức nhiệt độ này vừa đảm bảo năng suất, vừa giảm thất thoát chất khô vào whey, đồng thời đạt CSY cao nhất.

Bảng 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến chất lượng phô mai tươi

Nhiệt độ, °C	Năng suất %	TS whey, %	TS cheese, %	CSY, %
30	19,90 ± 0,18^{c}	10,90 ± 0,55^{b}	34,56 ± 2,39^{a}	45,85 ± 3,05^{b}
37	20,23 ± 0,32^{c}	10,16 ± 0,04^{a}	36,06± 0,44^{a}	48,65 ± 1,00^{b}
45	19,11 ± 0,25^{b}	11,06 ± 0,10^{bc}	36,88 ± 0,80^{ab}	46,98 ± 1,13^{b}
54	15,87 ± 0,32^{a}	11,48 ± 0,09^{c}	39,49 ± 2,23^{b}	41,77 ± 2,46^{a}

Trong mỗi cột, những chữ cái khác nhau chỉ sự khác biệt có nghĩa giữa các mẫu (p < 0.05).

Bảng 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến đặc điểm kết cấu phô mai tươi

Mẫu	Nhiệt độ, °C	Độ cứng, g	Độ đàn hồi, mm	Độ bám dính, mJ
T30	30	343,50 ± 19,97^{a}	2,74 ± 0,04^{a}	0,04 ± 0,01^{a}
T37	37	379,67 ± 22,57^{b}	2,82 ± 0,01^{b}	0,04 ± 0,01^{a}
T45	45	465,17 ± 39,93^{c}	2,82 ± 0,03^{b}	0,04 ± 0,01^{a}
T54	54	782,67 ± 20,75^{d}	2,80 ± 0,01^{b}	0,04 ± 0,01^{a}

Trong mỗi cột, những chữ cái khác nhau chỉ sự khác biệt có nghĩa giữa các mẫu (p < 0,05).

3.3. Ảnh hưởng của nồng độ rennet tới chất lượng phô mai

Lượng rennet được thêm vào ảnh hưởng trực tiếp đến giai đoạn đông tụ bằng enzym. Bảng 4 cho thấy nồng độ rennet có ảnh hưởng rõ rệt đến thời gian đông tụ, năng suất và hiệu suất thu hồi chất khô phô mai tươi ($p < 0,05$). Khi nồng độ rennet tăng từ 0,01 lên 0,055% (v/v), thời gian đông tụ giảm mạnh từ 820 giây xuống 260 giây, phản ánh mối quan hệ thuận nghịch giữa hoạt tính enzyme và tốc độ hình thành gel casein (Fox et al., 2017; Hovjecki et al., 2022). Năng suất đạt giá trị cao nhất ở nồng độ 0,04% (21,53%), cùng với TS cheese (37,11%) và CSY (53,25%) đều cao hơn so với các mức rennet khác ($p < 0,05$), cho thấy sự cân bằng tối ưu giữa sự cắt κ-casein và hình thành mạng lưới casein bền vững, từ đó giảm thất thoát chất khô vào whey và nâng cao hiệu quả thu hồi (Ong et al., 2011). Ngược lại, ở nồng độ rennet thấp (0,01 – 0,025%), gel hình thành chậm, năng suất thu nhận phô mai và CSY thấp. Ở mức nồng độ enzyme cao nhất (0,055%), tuy thời gian đông tụ ngắn nhất nhưng năng suất và CSY lại giảm, có thể do hiện tượng cắt phá quá mức làm cấu trúc gel kém đồng đều và khả năng giữ ẩm thấp

hơn. Như vậy, nồng độ rennet 0,04% được xác định là phù hợp cho quá trình đông tụ sữa, đảm bảo năng suất và hiệu suất thu hồi chất khô cao.

Kết quả phân tích (Bảng 5) cho thấy có sự khác biệt đáng kể về độ cứng giữa các mẫu phô mai ($p < 0,05$), trong khi độ đàn hồi và độ bám dính không khác biệt ($p > 0,05$). Việc tăng nồng độ enzyme vào sữa dẫn đến tốc độ phản ứng enzyme nhanh, đẩy nhanh quá trình thủy phân k-casein và làm giảm độ cứng của gel (Soodam et al., 2015) có thể là nguyên nhân làm giảm độ cứng của các sản phẩm.

Bảng 4. Ảnh hưởng của nồng độ rennet đến chất lượng phô mai tươi

Mẫu	Nồng độ Rennet (%, v/v)	Thời gian đông tụ (giây)	Năng suất, %	TScheese, %	TSwhey, %	CSY, %
E01	0,01	820 ± 75,50^{c}	19,85 ± 0,56^{ab}	35,69 ± 0,39^{a}	10,90 ± 0,03^{b}	47,24 ± 1,57^{a}
E025	0,025	540 ± 108,17^{b}	20,74 ± 0,20^{bc}	36,51 ± 0,24^{ab}	10,86 ± 0,05^{a}	50,49 ± 0,77^{bc}
E04	0,04	360 ± 51,96^{ab}	21,53 ± 0,16^{c}	37,11 ± 0,60^{b}	11,09 ± 0,03^{b}	53,25 ± 0,92^{c}
E055	0,055	260 ± 62,45^{a}	19,57 ± 0,39^{a}	37,41 ± 0,52^{b}	11,04 ± 0,04^{b}	48,80 ± 1,10^{ab}

Trong mỗi cột, những chữ cái khác nhau chỉ sự khác biệt có nghĩa giữa các mẫu (p < 0.05).

Bảng 5. Ảnh hưởng của nồng độ enzyme đến chất lượng phô mai tươi

Mẫu	Nồng độ enzyme (%, v/v)	Độ cứng (g)	Độ đàn hồi (mm)	Độ bám dính, mJ
E01	0,01	301,67 ± 15,47^{b}	2,88 ± 0,03^{a}	0,04 ± 0,01^{a}
E025	0,025	360,67 ± 12,64^{c}	2,89 ± 0,05^{a}	0,04 ± 0,01^{a}
E04	0,04	207,00 ± 18,96^{a}	2,87 ± 0,03^{a}	0,03 ± 0,01^{a}
E055	0,055	205,75 ± 23,08^{a}	2,89 ± 0,02^{a}	0,04 ± 0,01^{a}

Trong mỗi cột, những chữ cái khác nhau chỉ sự khác biệt có nghĩa giữa các mẫu (p < 0.05).

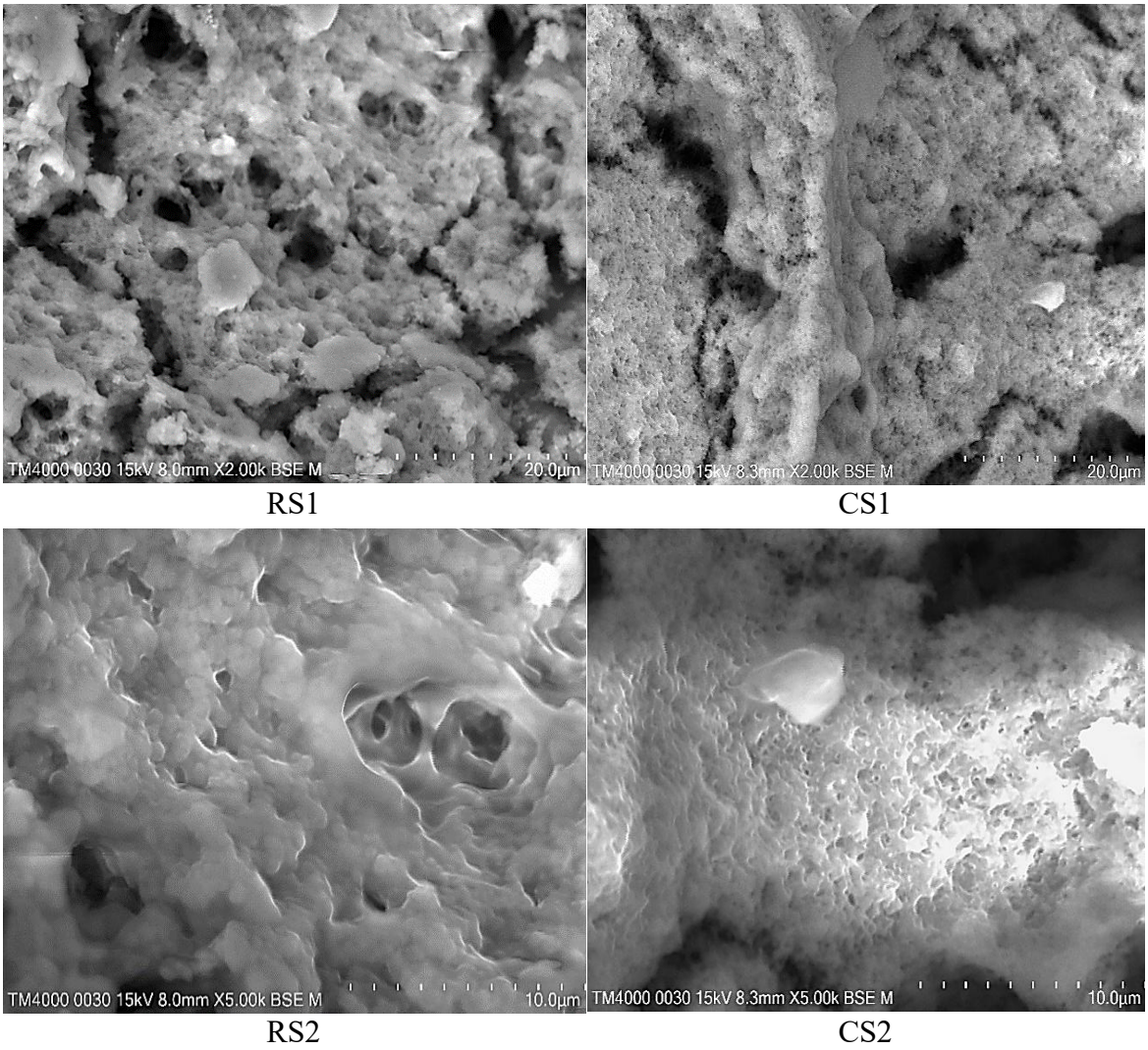
3.4. Chất lượng của sản phẩm phô mai

Kết quả phân tích cho thấy mẫu phô mai tươi làm từ sữa hoàn nguyên (mẫu E04, sau này gọi là mẫu RS) có hàm lượng chất khô đông tụ với 0,1% acid citric (pH = 5,94) và 0,04% rennet ở 37°C có năng suất phô mai là 21,53% và hiệu suất thu hồi chất khô là 53,25%. Sản phẩm nghiên cứu có hàm lượng protein, lipid, carbohydrate, tro và độ ẩm đạt lần lượt là 18,5%, 3,72%, 8,54%, 1,94% và 67,3%, không có sự hiện diện của *Listeria monocytogenes* và *Staphylococcus* dương tính với coagulase. Hình ảnh SEM (Hình 3) thể hiện sự khác biệt trong cấu trúc vi mô của mẫu phô mai tươi nghiên cứu (RS) và mẫu phô mai đối chứng được sản xuất theo quy trình tại Hình 1 nhưng quá trình đông tụ được thực hiện hoàn toàn bằng acid citric (CS). Ở mức phóng đại ×2000 (RS1 và CS1), cấu trúc gel của hai sản phẩm có mạng lưới protein tương đối đồng đều, có nhiều khe rãnh khả năng là vết nứt trong quá trình sấy mẫu. Mẫu CS xuất hiện các vùng protein kết tụ thành mảng lớn, lỗ rỗng kém đồng đều hơn mẫu RS. Ở mức phóng đại ×5000 (RS2 và CS2), RS cho thấy cấu trúc mịn, các hạt nhẵn hơn, có các hốc nhỏ liên kết tốt với khối nền protein, điều này giúp khả năng giữ nước cao và hạn chế hiện tượng thoát whey (Hình 4). Ngược lại, CS có nhiều vùng rỗng nhỏ nhưng rộng khắp, thể hiện độ xốp cao hơn, bề mặt protein thô, không nhẵn. Điều này có thể giải thích vì quá trình đông tụ bằng acid thường dẫn đến mạng gel kém ổn định, dễ co rút và dễ tách huyết thanh hơn (Fox et al., 2017; Hovjecki et al., 2022).

Việc đánh giá cảm quan rất quan trọng để xác định chất lượng của phô mai. Kết quả phân tích (Bảng 6) cho thấy phô mai RS cứng hơn mẫu CS ($p < 0,05$). Phô mai RS có điểm chất lượng vị cao hơn phô mai CS ($p < 0,05$). Mẫu phô mai RS có vị chua thấp hơn so với CS (độ acid có thể chuẩn độ trong phô mai RS là 8,87 mmol/100 g, trong khi ở phô mai CS, độ acid là 17,47 mmol/100 g) là lý do điểm chất lượng vị của mẫu RS được đánh giá cao hơn. Không có sự khác biệt đáng kể về ngoại quan và mùi giữa các mẫu phô mai ($p < 0,05$).

Bảng 6. Điểm chất lượng cảm quan của các mẫu phô mai

Đặc điểm	Mẫu RS	Mẫu CS
Ngoại quan	4,60 ± 0,89^{a}	4,60 ± 0,55^{a}
Kết cấu	4,00 ± 0,71^{a}	3,40 ± 0,55^{b}
Mùi	4,40 ± 0,89^{a}	4,40 ± 0,89^{a}
Vị	4,20 ± 0,84^{a}	3,20 ± 0,84^{b}



Hình 3. Hình ảnh SEM của các mẫu phô mai RS và CS

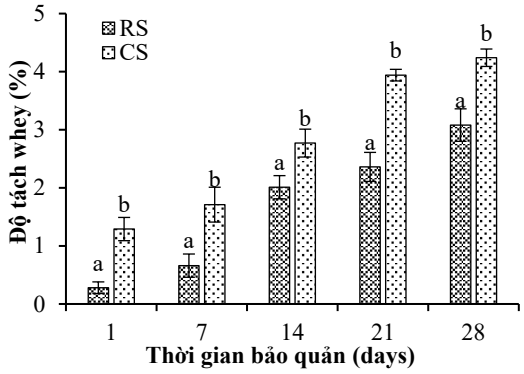
RS1 và CS1 được chụp với độ phóng đại x2000, tương ứng với thước đo là 20 µm.

RS2 và CS2 được chụp với độ phóng đại x5000, tương ứng với thước đo là 10 µm.

3.5. Đánh giá một số đặc tính chất lượng của phô mai trong thời gian bảo quản

Các mẫu phô mai nghiên cứu (RS) và mẫu phô mai đối chứng (CS) được bảo quản trong tủ lạnh tại 4 ± 2 °C trong 28 ngày. Một số chỉ tiêu được theo dõi và đo đạc, gồm độ tách whey, màu sắc và độ acid. Hình 4 cho thấy mức độ tách whey từ các mẫu phô mai RS và CS trong quá trình bảo quản.

Kết quả phân tích cho thấy độ tách whey tăng lên trong thời gian bảo quan ($p < 0,05$). Mẫu RS có độ tách whey tăng từ 0,28% đến 3,08% trong 28 ngày bảo quản, trong khi mẫu CS có mức độ tách whey tăng từ 1,29% lên 4,24%. Gel đông tụ bằng acid được hình thành do sự kết tụ của các hạt casein khi độ pH của sữa giảm và tiến gần đến điểm đẳng điện (pH 4,6) của casein (Lucey et al., 1998). Gel casein rất hoạt động và sự sắp xếp lại các cụm và hạt có thể xảy ra trước hoặc trong quá trình hình thành gel (Fox et al., 2017; Horne & Lucey, 2017). Quá trình này có thể dẫn đến việc tạo ra các tập hợp dày đặc và mạng lưới gel có lỗ rỗng lớn, dễ bị tách whey. Cấu trúc mạng xốp hơn của phô mai đông tụ bằng acid (Hình 3) dễ dẫn đến rò rỉ huyết thanh trong thời gian bảo quản. Trong khi mẫu RS có gel mịn hơn với các khoảng trống ít hơn, độ xốp thấp làm chậm quá trình rò rỉ whey.



Hình 4. Độ tách whey của các mẫu phô mai trong quá trình bảo quản

Các chữ cái khác nhau chỉ sự khác nhau giữa các mẫu tại mỗi thời điểm bảo quản (p < 0,05).

Màu sắc của mỗi mẫu phô mai (Bảng 7) không thay đổi đáng kể trong quá trình bảo quản. Tuy nhiên, có sự khác biệt về màu sắc giữa hai mẫu phô mai RS và CS ($p < 0,05$), có thể nhận biết bằng mắt thường ($\Delta E > 3$). Mẫu RS có giá trị L* thấp hơn mẫu CS, tức là có bề mặt tối hơn. Mẫu RS cũng có bề mặt vàng hơn (b* lớn hơn) so với mẫu CS (Hình 5). Sự khác biệt về màu sắc này có thể được giải thích là do sự thất thoát các thành phần β-carotene, riboflavin từ sữa vào whey trong giai đoạn tách whey của quá trình sản xuất phô mai đông tụ bằng acid nhiều hơn so với quá trình sản xuất có sử dụng rennet (Zandona et al., 2024). Hơn nữa, kết cấu của mẫu RS ít lỗ rỗng hơn, khiến ánh sáng cũng khó xuyên qua làm giảm độ sáng L* của sản phẩm.

Hình 5. Các mẫu phô mai trong ngày đầu bảo quản

Bảng 7. Các giá trị màu sắc của các mẫu phô mai trong quá trình bảo quản

Ngày	Mẫu	Giá trị			
		L*	a*	b*	ΔE
1	RS	84,36 ± 1,74^{a}	-0,94 ± 0,08^{cd}	14,03 ± 0,70^{cd}	7,36
	CS	90,80 ±1,96^{abc}	-1,51 ± 0,03^{ab}	10,53 ± 0,16^{ab}	
7	RS	82,86 ± 2,30^{a}	-1,16 ± 0,08^{bcd}	12,10 ± 1,53^{bcde}	4,50
	CS	86,38 ± 1,20^{c}	-1,39 ± 0,03^{ab}	9,32 ± 0,13^{abc}	
14	RS	82,12 ±1,46^{a}	-0,81 ± 0,21^{d}	11,60 ± 1,11^{abcd}	4,71
	CS	86,76 ± 1,10^{abc}	-1,56 ± 0,15^{a}	11,16 ± 2,52^{abcde}	
21	RS	85,70 ± 2,09^{ab}	-1,28 ± 0,20^{abc}	14,48 ± 0,58^{d}	5,92
	CS	87,11 ± 2,78^{abc}	-1,38 ±0,14^{ab}	8,73 ± 0,46^{a}	
28	RS	87,14 ± 0,93^{abc}	-1,58 ± 0,20^{a}	12,82 ± 0,45^{cde}	3,74
	CS	89,96 ± 0,79^{bc}	-1,35 ± 0,14^{ab}	10,37 ± 0,31^{abc}	

Trong mỗi cột, những chữ cái khác nhau chỉ sự khác biệt có nghĩa giữa các mẫu (p < 0.05).

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, quy trình sản xuất phô mai tươi từ sữa hoàn nguyên đã được phát triển thành công bằng cách kết hợp hoàn nguyên sữa bột sữa gầy : bột kem : nước với tỷ lệ 39:9:252 (g:g:g), sau đó việc đông tụ casein với dung dịch acid citric 0,1% tạo độ pH 5,94 và dung dịch rennet 0,04% ở 37°C đã được thực hiện. Ở điều kiện này phô mai thu được đạt năng suất 21,53% và hiệu suất thu hồi chất khô đạt 53,25%. Kết quả nghiên cứu còn phát hiện ra rằng kết cấu và hương vị của phô mai được cải thiện hơn so với sản phẩm phô mai chỉ đông tụ bằng acid citric nhờ mạng lưới protein dày đặc hơn được hình thành trong quá trình đông tụ với rennet. Hạn chế của nghiên cứu này là chưa thực hiện được bài toán tối ưu hóa để tìm ra các thông số tối ưu trong quá trình đông tụ casein.

LỜI CẢM TẠ

Chúng tôi trân trọng cảm ơn Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh đã hỗ trợ cơ sở vật chất phục vụ nghiên cứu này. Đồng thời, chúng tôi cảm ơn các sinh viên Phan Nguyễn Ngọc Khánh và Lê Thị Ngọc Yến đã tham gia thực hiện thí nghiệm và đóng góp tích cực cho việc hoàn thành nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

Buriti, F. C. A., da Rocha, J. S., Assis, E. G., & Saad, S. M. I. (2005). Probiotic potential of Minas fresh cheese prepared with the addition of Lactobacillus paracasei. *LWT - Food Science and Technology*, *38*(2), 173–180. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.05.012

Cipolat-Gotet, C., Cecchinato, A., De Marchi, M., & Bittante, G. (2013). Factors affecting variation of different measures of cheese yield and milk nutrient recovery from an individual model cheese-manufacturing process. *Journal of Dairy Science*, *96*(12), 7952–7965. https://doi.org/10.3168/jds.2012-6516

Dmytrów, I., Jasinska, M., & Dmitrów, K. (2010). Effect of microbiological transglutaminase on selected physicochemical properties of tvarog. *Italian Journal of Food Science*, *22*(4), 449–460.

Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. (2017). *Fundamentals of Cheese Science*. Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7681-9

Hamouda, M. E. A., & Salunke, P. (2024). Changes in Milk Protein Functionality at Low Temperatures and Rennet Concentrations. *Foods*, *13*(3), 447. https://doi.org/10.3390/foods13030447

Horne, D. S., & Lucey, J. A. (2017). Rennet-Induced Coagulation of Milk. Paul L.h. Mcsweeney, Patrick F. Fox, Paul D. Cotter and David W. Everett. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology* (pp. 115–143). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417012-4.00005-3

Hovjecki, M., Miloradovic, Z., Barukčić, I., Blažić, M., & Miocinovic, J. (2022). Rheological Properties of Goat Milk Coagulation as Affected by Rennet Concentration, pH and Temperature. *Fermentation*, *8*(6), 291. https://doi.org/10.3390/fermentation8060291

Li, Q., & Zhao, Z. (2019). Acid and rennet-induced coagulation behavior of casein micelles with modified structure. *Food Chemistry*, *291*, 231–238. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.028

Lucey, J. A. (2002). Formation and Physical Properties of Milk Protein Gels. *Journal of Dairy Science*, *85*(2), 281–294. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74078-2

Lucey, John A., Tamenana, M., Singh, H., & Munro, P. A. (1998). Effect of interactions between denatured whey proteins and casein micelles on the formation and rheological properties of acid skim milk gels. *Journal of Dairy Research*, *65*(4), 555–567. https://doi.org/10.1017/S0022029998003057

Mokrzycki WS, T. M. (2011). Colour difference ΔE - A survey. *Mach Graph Vis.*, *20*(4), 383–411.

Nájera, A. I., de Renobales, M., & Barron, L. J. R. (2003). Effects of pH, temperature, CaCl2 and enzyme concentrations on the rennet-clotting properties of milk: a multifactorial study. *Food Chemistry*, *80*(3), 345–352. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00270-4

Ong, L., Dagastine, R. R., Auty, M. A. E., Kentish, S. E., & Gras, S. L. (2011). Coagulation temperature affects the microstructure and composition of full fat Cheddar cheese. *Dairy Science & Technology*, *91*(6), 739–758. https://doi.org/10.1007/s13594-011-0033-6

Rovira, S., López, M. B., Ferrandini, E., & Laencina, J. (2011). Hot topic: Microstructure quantification by scanning electron microscopy and image analysis of goat cheese curd. *Journal of Dairy Science*, *94*(3), 1091–1097. https://doi.org/10.3168/jds.2010-3996

Salinas-Valdés, A., De la Rosa Millán, J., Serna-Saldívar, S. O., & Chuck-Hernández, C. (2015). Yield and Textural Characteristics of Panela Cheeses Produced with Dairy-Vegetable Protein (Soybean or Peanut) Blends Supplemented with Transglutaminase. *Journal of Food Science*, *80*(12), S2950–S2956. https://doi.org/10.1111/1750-3841.13126

Şanlı, T., Sezgin, E., Deveci, O., Şenel, E., & Benli, M. (2011). Effect of using transglutaminase on physical, chemical and sensory properties of set-type yoghurt. *Food Hydrocolloids*, *25*(6), 1477–1481. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.09.028

Soodam, K., Ong, L., Powell, I. B., Kentish, S. E., & Gras, S. L. (2015). Effect of rennet on the composition, proteolysis and microstructure of reduced-fat Cheddar cheese during ripening. *Dairy Science & Technology*, *95*(5), 665–686. https://doi.org/10.1007/s13594-015-0250-5

Statista, (n.d.). (2025a). *Fresh milk production volume in Vietnam 2016-2023*. https://www.statista.com/statistics/1115308/vietnam-fresh-milk-production-volume/

Statista, (n.d.). (2025b). *The Dairy Products & Eggs Market in Vietnam*. https://www.statista.com/outlook/cmo/food/dairy-products-eggs/cheese/vietnam

Tarlak, F., Ozdemir, M., & Melikoglu, M. (2016). Computer vision system approach in colour measurements of foods: Part I. Development of methodology. *Food Science and Technology*, *36*(2), 382–388. https://doi.org/10.1590/1678-457X.11615

Tipvarakarnkoon, T., Sornsa-ard, S., & Imcha, W. (2017). Development of fresh cheese made from coconut milk in combination with cow's milk. *British Food Journal*, *119*(10), 2183–2193. https://doi.org/10.1108/BFJ-10-2016-0503

van Vliet, T., & Walstra, P. (1994). Water in casein gels: How to get it out or keep it in. *Journal of Food Engineering*, *22*(1–4), 75–88. https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)90026-4

Walstra, P., Wouters, J. T. M., & Geurts, T. J. (2006). *Dairy Science and Technology* (2nd edition). CRC Press Taylor & Francis Group. https://doi.org/https://link.springer.com/journal/13594

Zandona, E., Vranković, L., Pedisić, S., Vukušić Pavičić, T., Dobrinčić, A., Marušić Radovčić, N., Lisak Jakopović, K., Blažić, M., & Barukčić Jurina, I. (2024). Production of Acid and Rennet-Coagulated Cheese Enriched by Olive (Olea europaea L.) Leaf Extract—Determining the Optimal Point of Supplementation and Its Effects on Curd Characteristics. *Foods*, *13*(4), 616. https://doi.org/10.3390/foods13040616