

Báo Cáo Kỹ Thuật :

Vai trò của protein sữa trong nguyên liệu và tính năng sản phẩm



Tác giả:
Hasmukh Patel
và Sonia Patel

Trường Đại học Bang South Dakota

Biên tập:
Robert Beausire
KaiNutra LLC.

Phản biện:
Shantanu Agarwal
Hiệp hội Bơ sữa quốc gia

Giới thiệu

Protein là một thành phần dinh dưỡng thiết yếu và việc cung cấp đầy đủ protein là rất quan trọng đối với một chế độ ăn uống lành mạnh và cân bằng. Ngày nay, nhận thức và hiểu biết về lợi ích của protein trong chế độ ăn của người tiêu dùng ngày càng được nâng cao. Họ nhận thức được vai trò quan trọng của chế độ ăn trong việc giúp quản lý cơ thể, duy trì năng lượng và tối đa hóa hiệu suất. Sữa là một nguồn cung cấp protein quan trọng có chất lượng cao, linh hoạt và đa chức năng. Các nhà sản xuất thực phẩm và đồ uống đang cố gắng để kết hợp protein sữa trong các sản phẩm của họ. Không chỉ là nguồn dinh dưỡng tuyệt vời, protein sữa còn cung cấp các nhân hàng sạch như mong muốn của người tiêu dùng cũng như một loạt các lợi ích về chức năng trong thành phẩm: khả năng hòa tan, khả năng chịu nhiệt, khả năng tạo keo, tạo bọt và nhũ tương hóa.

Sữa là một hệ thống dinh dưỡng phức tạp, có nhiều lợi ích về dinh dưỡng và chức năng. Mức độ chế biến sẽ ảnh hưởng đến tính chất và cách biểu hiện của sữa trong hệ thống thực phẩm. Các protein trong sữa đặc biệt phức tạp và nhạy cảm với các điều kiện chế biến được sử dụng trong công nghiệp thực phẩm và công nghiệp bơ sữa (ví dụ như: khuấy, xử lý nhiệt). Quá trình chế biến làm thay đổi cấu trúc của protein, dẫn đến sự biến tính, sự kết tụ, và sự tương tác giữa các loại protein. Các loại và mức độ tương tác protein có thể khác nhau tùy thuộc vào nhiều yếu tố như điều kiện chế biến (ví dụ, nhiệt độ và thời gian xử lý), thành phần sản phẩm, giá trị pH, hàm lượng protein và cường độ ion. Những thay đổi này có thể ảnh hưởng đến những tính năng của sữa nguyên liệu chẳng hạn như khả năng hòa tan, sự keo tụ, khả năng chịu nhiệt và nhũ tương hóa, kết quả là ảnh hưởng đến tính năng của protein trong thành phẩm. Mặt khác, những biến đổi do nhiệt tạo ra trong protein sữa góp phần cải thiện các tính chất cảm quan của các sản phẩm sữa và thực phẩm như sữa chua, bánh nướng và các loại bánh kẹo. Đó là lý do tại sao sự hiểu biết về protein sữa và chức năng của chúng có thể giúp mang những đặc tính chức năng phù hợp áp dụng vào trong các nguyên liệu sữa cũng như thực phẩm và sản phẩm sữa.

Báo cáo kỹ thuật này cung cấp cho các chuyên viên thiết lập công thức về thực phẩm và đồ uống hiểu thêm về phức hợp protein sữa, các loại protein sữa khác nhau và đặc điểm của chúng cũng như các nghiên cứu về các loại protein sữa khác nhau. Báo cáo cũng xem xét điều kiện chế biến tác động như thế nào đến tính chất của protein sữa, đề xuất các phương thức cải thiện chất lượng và sử dụng protein sữa để tạo ra các loại thực phẩm và đồ uống mới. [Xem mục lục của báo cáo ở trang 16.](#)

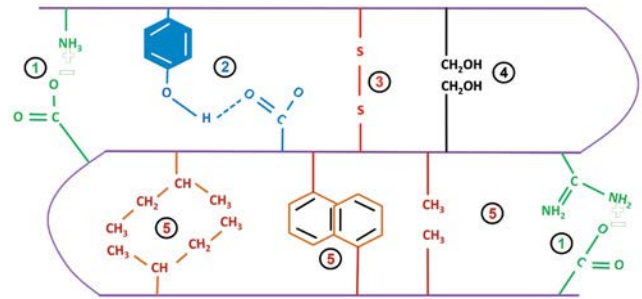
Cấu trúc protein

Protein là các đại phân tử được cấu trúc bởi các đơn phân tử là các axit amin. Trình tự cụ thể của các axit amin trong protein xác định cấu tạo, cấu trúc và đặc tính của protein. Tùy thuộc vào loại axit amin, protein có thể có các kiểu cấu trúc khác nhau. Các cấu trúc của protein được ổn định bởi các lực phân tử khác nhau. Các lực này bao gồm lực tương tác tĩnh điện, lực liên kết hydro, liên kết disulfide, tương tác lưỡng cực, tương tác kỵ nước và lực Van der Waals¹ (**Hình 1**).^{1,2,3}

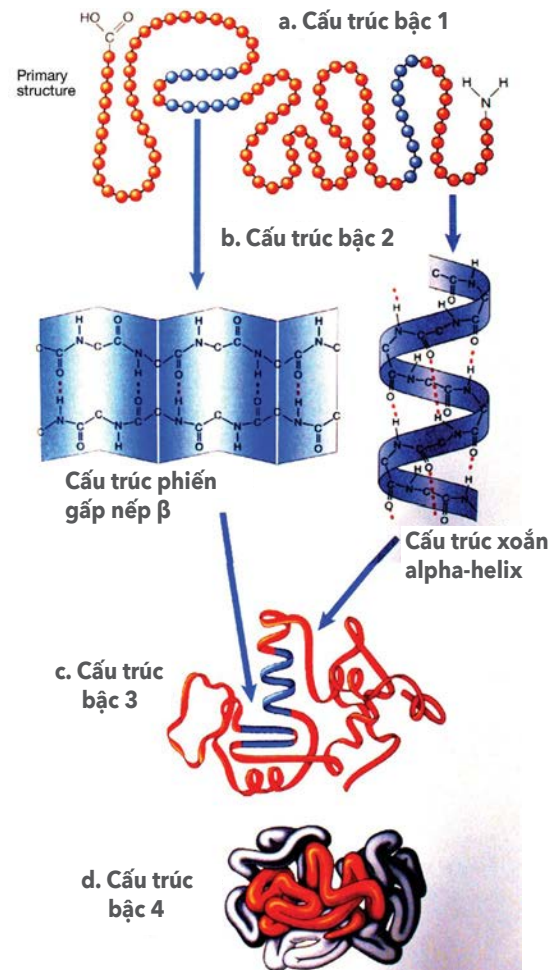
Cấu trúc tự nhiên protein có bốn cấp độ khác nhau: cấu trúc bậc 1, cấu trúc bậc 2, cấu trúc bậc 3 và cấu trúc bậc 4 (**Hình 2**). Cấu trúc bậc 1 là trình tự đặc trưng của các axit amin trên chuỗi polypeptide được nối với nhau bằng liên kết đồng hóa trị (**Hình 2a**). Bằng các lực phân tử được tạo ra giữa các axit amin trong chuỗi polypeptide, cấu trúc bậc 1 sẽ cuộn lại thành dạng mới, tạo thành cấu trúc bậc 2 và bậc 3 làm phát sinh một cấu trúc tự nhiên cuộn đặc biệt sở hữu nguồn năng lượng thấp nhất có thể. Các dạng cấu trúc bậc 2 chuẩn có rất nhiều trong protein là cấu trúc xoắn α -helix và cấu trúc phiến gấp nếp β . Dạng cấu trúc cuộn xoắn α -helix được hình thành bởi sự cuộn xoắn của chuỗi polypeptide và được ổn định bằng liên kết hydro giữa các axit amin ở cạnh nhau. Dạng cấu trúc phiến gấp nếp β được hình thành bởi một liên kết tuyến tính của một số mảng của chuỗi axit amin (**Hình 2b**). Cấu trúc này cũng được ổn định bằng liên kết hydro trong chuỗi.

Cấu trúc bậc ba là sự sắp xếp theo không gian ba chiều của một số mảng được hiện diện trong phân tử protein. Cấu trúc không gian ba chiều của phân tử protein được hình thành và duy trì bằng các tương tác liên và nội phân tử bao gồm liên kết hydro, tương tác kỵ nước, lực van der Waals⁴ và tương tác tĩnh điện (**Hình 2c**).

Cấu trúc bậc bốn là sự kết hợp của các phân tử protein riêng lẻ. Những cấu trúc bậc bốn này được tạo ra như là kết quả của sự tương tác giữa hai hoặc nhiều chuỗi polypeptide (**Hình 2d**), được hình thành bởi sự sắp xếp không gian bằng các tương tác không đồng hóa trị vào một phức hợp protein.^{2,5}



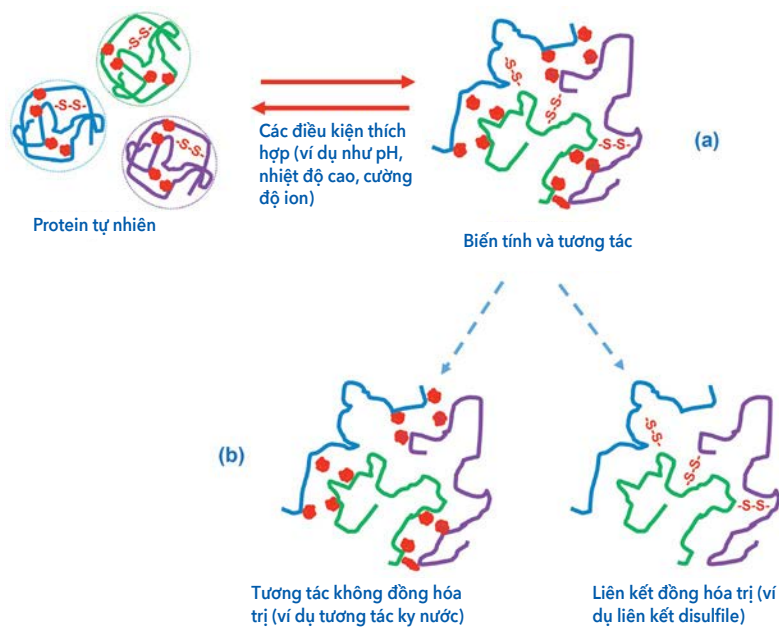
Hình 1. Sơ đồ các lực ổn định cấu trúc protein
1. Lực tương tác tĩnh điện; 2. Lực liên kết hydro;
3. Liên kết disulfide; 4. Tương tác lưỡng cực;
5. Tương tác kỵ nước.¹



Hình 2. Sơ đồ bốn mức độ khác nhau của cấu trúc protein a. cấu trúc bậc 1; b. cấu trúc bậc 2; c. cấu trúc bậc 3; và d. cấu trúc bậc 4.

Sự biến tính protein

Sự biến tính hoặc duỗi xoắn các phân tử protein là sự phá vỡ hoặc thay đổi các lực ổn định trong cấu trúc tự nhiên. Nó làm cho protein mất hoặc duỗi xoắn cấu trúc gốc của nó. Nhiệt độ, áp suất, tác nhân cơ học hoặc thay đổi điều kiện hình thành (pH, cường độ ion) có thể gây ra các biến đổi trong cấu trúc tự nhiên của protein; các phân tử protein tự nhiên có kết cấu chặt chẽ bắt đầu duỗi xoắn tạo thành các cấu trúc tự do, không trật tự (**Hình 3**). Tùy thuộc vào điều kiện hình thành và quá trình chế biến, sự vốn cục protein có thể xảy ra thông qua các liên kết giữa các phân tử và nội phân tử như liên kết đồng hóa trị (ví dụ, cầu nối disulfide) hoặc liên kết không đồng hóa trị (ví dụ, lực Van der Waals và lực tương tác tĩnh điện). Cần lưu ý rằng, khái niệm biến tính protein nói chung có thể bao gồm nhiều hình thức biến tính, từ những thay đổi nhỏ trong cấu trúc bậc 3 mà không thay đổi cấu trúc bậc 2 (ví dụ, dạng mất cấu trúc tự nhiên) hoặc những thay đổi lớn trong cấu trúc bậc 2 dẫn đến thay đổi trong cấu trúc bậc 4 của phân tử protein.¹



Hình 3. Sơ đồ minh họa những biến đổi do nhiệt trong cấu trúc tự nhiên của protein

a. biến tính và kết tủa protein, và b. hình thành các tương tác đồng hóa trị và không đồng hóa trị

Protein sữa: Khái niệm, tính chất hóa lý và cấu trúc

Sữa là một chất lỏng sinh học phức tạp chứa nước, chất béo, đường lactose, protein và khoáng chất (Bảng 1). Nước là thành phần luôn tồn tại trong sữa, trong đó các thành phần khác có thể hòa tan hoặc ở dạng huyền phù. Lactose và một phần của các muối khoáng được hòa tan trong dung dịch; protein và phần còn lại của các khoáng chất được tìm thấy trong phần huyền phù dạng keo.

BẢNG 1: THÀNH PHẦN TRUNG BÌNH CỦA SỮA BÒ NGUYÊN CHẤT⁶

| THÀNH PHẦN | % (W/W) TRONG SỮA |
|----------------------|-------------------|
| Nước | 87.30 |
| Lactose | 4.60 |
| Chất béo | 3.90 |
| Proteins | 3.30 |
| Casein proteins 2.60 | |
| Whey proteins 0.70 | |
| Chất khoáng | 0.70 |
| Axit hữu cơ | 0.20 |

Trong mỗi kg sữa bò có chứa 30-35 gram protein, gồm hai loại chính là casein và whey proteins.^{6,7} Casein tồn tại chủ yếu ở trạng thái keo; whey protein tồn tại ở dạng hòa tan. Casein và whey protein có các tính năng khác nhau và thực hiện vai trò khác nhau tùy thuộc vào trạng thái và cấu trúc của chúng trong dung dịch.

Casein và whey protein có cấu trúc rất khác nhau, do đó, các đặc tính hóa lý khác nhau là cơ sở cho việc sản xuất các loại sản phẩm sữa và thực phẩm khác nhau. Các đặc tính khác nhau của casein và whey protein được trình bày tóm tắt ở **Bảng 2**. Căn cứ vào những đặc tính của casein và whey protein được liệt kê trong bảng, rõ ràng là đặc tính của protein sữa có ảnh hưởng đến trạng thái của sữa trong các sản phẩm. Một ví dụ điển hình là sự kết tủa của casein. Khi độ pH của sữa giảm do quá trình lên men hoặc axit hóa trực tiếp tạo sẽ tạo ra các sản phẩm như sữa chua và phô mai. Kết tủa kappa-casein (κ -CN) bằng rennet là phương pháp thường sử dụng trong quá trình sản xuất phô mai.

κ -CN là một trong bốn dạng chính của phân tử casein, ngoài ra còn có alpha-s1-, alpha-s2- và beta-casein. Các alpha- và beta-casein là các protein kỵ nước có thể kết tủa dễ dàng bởi canxi. κ -CN là một phân tử khác biệt rõ rệt; nó không bị kết tủa bởi canxi. Khi casein được tách ra, chúng tự liên kết với nhau tạo thành các cụm nhỏ gọi là các hạt mixen, trong đó alpha- và beta-casein được lưu giữ trong hạt mixen nhờ các tương tác của chúng với κ -CN. Về bản chất, thông thường κ -CN giữ cho phần lớn các protein sữa hòa tan và ngăn không cho chúng tự đông lại.

BẢNG 2: SO SÁNH MỘT SỐ TÍNH CHẤT LÝ HÓA ĐẶC TRƯNG CỦA CASEIN VÀ WHEY PROTEINS⁸

| TÍNH CHẤT | CASEINS | PROTEIN WHEY |
|---|--|--|
| Cấu trúc | Không có cấu trúc bậc 2, bậc 3, bậc 4 rõ ràng. Chủ yếu là cấu trúc xoắn ngẫu nhiên | Cấu trúc bậc 3 và bậc 4 rõ ràng |
| Thành phần axit amin | Nhiều proline, ít axit amin chứa lưu huỳnh | Ít proline, nhiều axit amin chứa lưu huỳnh |
| Trạng thái vật lý | Tồn tại ở dạng các hạt keo lớn gọi là hạt casein (casein micell) tùy thuộc vào độ pH | Tồn tại ở dạng hạt protein hình cầu có từ 1-8 đơn phân |
| Khả năng hòa tan ở pH 4,6 | Không tan | Tan |
| Khả năng chịu nhiệt | Rất bền đối với nhiệt độ (có thể chịu được phương pháp xử lý nhiệt nghiêm ngặt như thanh trùng, tiệt trùng UHT, khử trùng bằng hơi nước) | Không chịu nhiệt (có thể biến tính hoàn toàn hoặc từng phần ở nhiệt độ 90°C trở lên) |
| Kết tủa bởi sự phân giải protein hạn chế hoặc ethanol | Có thể kết tủa bởi một chất cụ thể (ví dụ: rennet) hay bởi phân giải protein hạn chế hoặc ethanol | Không kết tủa bởi enzyme hay bởi phân giải protein hạn chế hoặc ethanol |

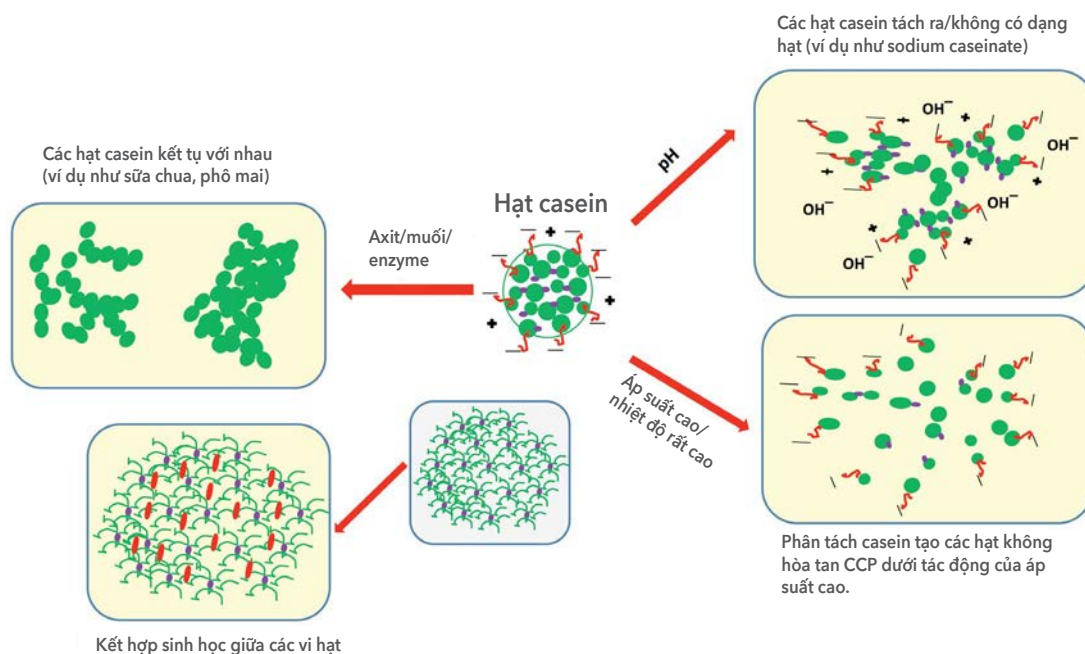
CASEINS

Casein là protein chính của sữa. Chúng chiếm khoảng 80% tổng số các hợp chất chứa ni tơ trong sữa bò. Chúng tồn tại trong sữa dưới dạng các hạt casein. Các dạng cấu trúc khác nhau của hạt casein đã được đề cập trong các báo cáo đầu tiên vào năm 1969.⁹ Do tính chất lưỡng cực của casein, nó là chất hoạt động bề mặt và nhũ tương hóa tuyệt vời. Casein có khối lượng phân tử tương đối cao và chứa nhiều proline nhưng chỉ có một ít cysteine.¹⁰ Tổng quan chi tiết về cấu trúc và tính chất của các hạt casein cũng đã được xuất bản.¹¹

Phân tử casein có ít cấu trúc bậc hai và bậc 3, đây là một đặc điểm góp phần làm cho phân tử casein ổn định với nhiệt độ cao. Tuy nhiên, khi bị xử lý nhiệt quá cao, casein sẽ biến đổi, chẳng hạn như xảy ra quá trình khử photpho (dephosphorylation) và phân giải protein (proteolysis). Quá trình trùng hợp casein có thể xảy ra như là kết quả của phản ứng ngưng tụ (ví dụ như các phản ứng dạng Maillard) và sự hình thành lysinoalanine. Những thay đổi trong các hạt casein khi xử lý nhiệt bao gồm tăng đường kính thủy động lực học, giảm điện thế zeta và quá trình hydrat hóa, và phân ly casein khỏi các hạt,^{12,13} đã được trình bày trong các tài liệu.^{14,11}

Sự kết hợp và phân ly của các hạt casein có thể xảy ra tùy thuộc vào điều kiện chế biến, giá trị pH và môi trường ion. Đây là một đặc tính quan trọng của các hạt casein, tạo cơ sở hình thành các sản phẩm và tính chất của các nguyên liệu khác nhau như sữa chua, phô mai và caseinate natri. (Hình 4).

Nhiều đặc tính công nghệ quan trọng của sữa, chẳng hạn như khả năng chịu nhiệt, khả năng đông tụ (rennet coagulability) và đặc tính tách lớp của các gel bị ảnh hưởng mạnh mẽ bởi ion canxi (Ca^{2+}). Mối liên kết giữa Ca^{2+} với casein chủ yếu thông qua mối liên kết với phosphoserine tự do và chuỗi bên của acid carboxylic.



Hình 4. Các phương thức khác nhau làm thay đổi chức năng của protein sữa.¹⁵ Sơ đồ về sự thay đổi cấu trúc hạt casein do ảnh hưởng của điều kiện chế biến.

PROTEIN WHEY

Protein whey hoặc protein huyết thanh sữa là những protein vẫn giữ trạng thái hòa tan sau khi casein đã kết tủa bằng điện ở giá trị pH 4,6 ở nhiệt độ 20°C để sản xuất whey axit hoặc sau khi làm đông tụ casein do sự thủy phân giới hạn protein bởi rennet để sản xuất whey ngọt.^{16,17} Thành phần trung bình của hai loại whey được trình bày trong **Bảng 3**.

Protein whey chiếm khoảng 20% (khoảng là 5-7 g/l) tổng số các hợp chất chứa ni tơ trong sữa bò. Các protein whey chính là β -lactoglobulin (β -LG), α -lactalbumin (α -LA), albumin huyết thanh bò (BSA) và globulin miễn dịch (IGS) với hàm lượng protein whey trong thứ tự giảm dần.³ Protein whey có cấu trúc chủ yếu là các protein hình cầu với một phân bố khá đồng nhất của các axit amin kỵ nước hoặc ưa nước dọc theo chuỗi polypeptide (trái ngược với casein).

BẢNG 3: THÀNH PHẦN CÁC LOẠI PROTEIN CỦA WHEY NGỌT VÀ WHEY AXIT ^{18,19,17}

| PROTEIN | HÀM LƯỢNG (%) TRONG PROTEIN WHEY | |
|--------------------------------------|----------------------------------|-----------|
| | WHEY AXIT | WHEY NGỌT |
| β -lactoglobulin | 54 | 45 |
| α -lactalbumin | 23 | 18 |
| albumin huyết thanh bò (BSA) | 6 | 5 |
| globulin miễn dịch (IGS) | 6 | 5 |
| Chuỗi peptide có nguồn gốc từ casein | 2 | 20 |
| Các Enzyme | 2 | 2 |
| Phức hợp protein-phospholipid | 5 | 5 |

Thành phần của protein whey thiếu các tiểu phần đơn phân có tính lưỡng cực giống như casein, một đặc điểm tạo cho chúng nhiều tính năng riêng biệt.¹⁸ Phân tử protein whey có thành phần proline thấp hơn đáng kể cho phép tạo ra một cấu trúc hình cầu với một lượng lớn các vòng xoắn, điều này giải thích cho khả năng dễ biến tính bởi nhiệt độ của whey protein.²⁰

Whey protein được bán thương mại dưới dạng các nguyên liệu thực phẩm và dinh dưỡng, chẳng hạn như bột whey, whey protein cô đặc (WPC) và whey protein phân lập (WPI). WPC và WPI là những nguyên liệu có giá trị trong ngành công nghiệp thực phẩm vì giá trị dinh dưỡng đặc biệt và những tính năng quan trọng của chúng, chẳng hạn như nhũ tương hóa, khả năng hòa tan và khả năng tạo gel dưới tác dụng của nhiệt độ hoặc áp suất.^{21,22} Thành phần của sản phẩm WPC thương mại rất khác nhau^{23,24} phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau như hàm lượng, mùa vụ, loại whey (whey nguồn) và các phương pháp chế biến được sử dụng để sản xuất WPC (**Bảng 4**).

Sự biến tính của protein whey xảy ra khi các liên kết hydro, liên kết kỵ nước, liên kết đồng hóa trị bị ảnh hưởng.¹⁸ Chúng làm bộc lộ các axit amin kỵ nước thường được bố trí ở bên trong cấu trúc ba chiều tự nhiên, do đó, làm tăng hoạt tính của các nhóm tương ứng. Thông qua việc thay đổi liên kết disulfide giữa các nhóm SH và các tương tác kỵ nước, các phân tử protein duỗi xoắn có thể kết hợp với nhau để tạo thành dạng kết tụ (**hình 3**), chúng trở nên không hòa tan do kích thước tăng lên. Xử lý nhiệt quá cao có thể dẫn tới sự tương tác giữa các phân tử protein với nhau tạo ra sự liên kết và kết tụ giữa các phân tử, cuối cùng, tùy thuộc vào các yếu tố như nồng độ protein, mức độ xử lý nhiệt hay làm lạnh, độ pH và cường độ ion mà protein có thể bị kết tủa hoặc đông đặc lại.^{25,26, 18,2,14,3} Những mô tả các thay đổi có thể xảy ra của protein sữa do ảnh hưởng của nhiệt độ được tóm tắt trong **Bảng 4**.

BẢNG 4: NHỮNG THAY ĐỔI CỦA PROTEIN DO ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ²⁷

Biến tính protein là bất kỳ thay đổi nào trong cấu trúc bậc hai, bậc ba hoặc bậc bốn mà không đi kèm bởi sự đứt gãy các liên kết peptide trong cấu trúc bậc một. Các cấu trúc cuối cùng sau khi biến tính có thể là chuỗi polypeptide duỗi xoắn hoàn toàn (cuộn xoắn ngẫu nhiên) hoặc duỗi xoắn từng phần.

Sự kết tụ hoặc polymer hóa: Các thuật ngữ kết tụ hoặc polymer hóa, kết tủa, đông đặc và tạo bông liên quan đến các tương tác giữa các protein không xác định dẫn đến sự hình thành các phức hợp lớn với trọng lượng phân tử cao hơn.

Sự gel hóa là quá trình kết cụm có trật tự các phân tử protein tự nhiên và / hoặc (một phần) protein biến tính, tạo thành một cấu trúc mạng lưới ba chiều, trong đó mỗi tương tác protein-protein và protein-dung môi được cân bằng để tạo ra cấu trúc ngấn nấp có khả năng giữ một lượng nước đáng kể.

Mối quan hệ giữa cấu trúc và chức năng của protein sữa

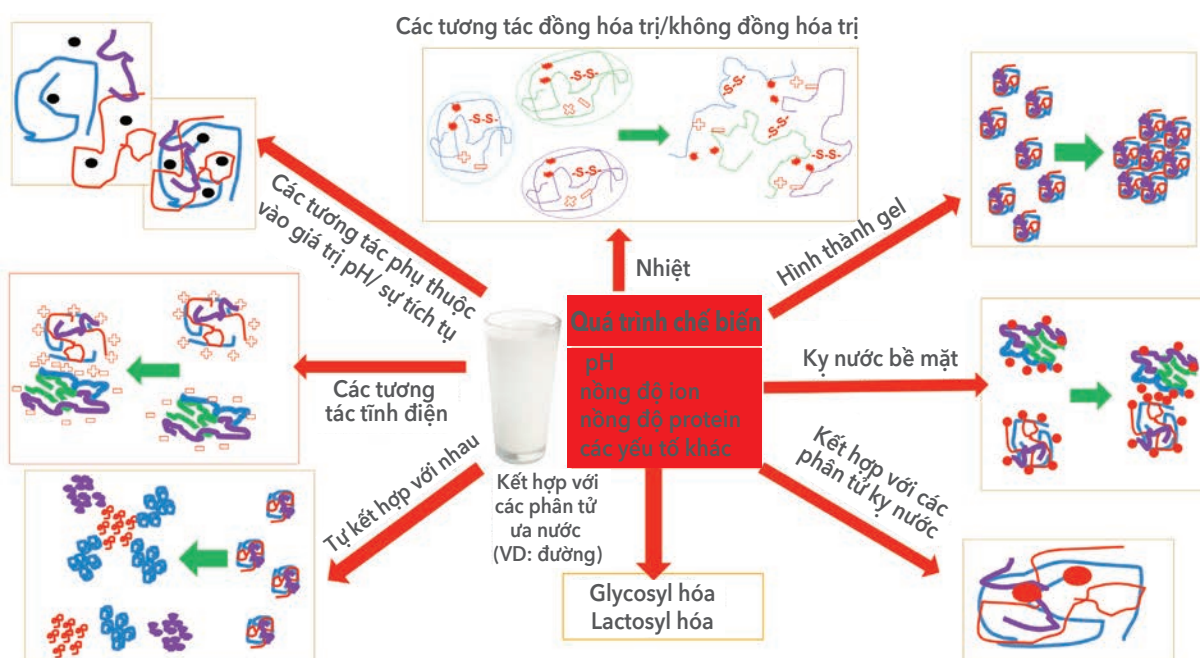
Mối liên quan giữa cấu trúc và chức năng của protein sữa quyết định vai trò của chúng trong sản phẩm cuối cùng. Sữa là một hệ thống dạng keo. Các yếu tố bên ngoài và bên trong đều ảnh hưởng đến các tương tác bên trong phân tử protein và giữa các phân tử protein với nhau. Các yếu tố bên ngoài bao gồm nhiệt độ, hàm lượng protein, độ pH, cường độ ion và loại ion, điều kiện chế biến, và nguồn năng lượng từ bên ngoài như tốc độ khuấy, nhiệt độ, áp suất cao hoặc sóng siêu âm làm ảnh hưởng đến mức độ biến tính, kết cụm và tương tác protein-protein ở mức độ phân tử. Các yếu tố bên trong bao gồm các tương tác kỵ nước, tương tác tĩnh điện, liên kết disulfide, trọng lượng phân tử và thành phần axit amin (**Hình 5**).²⁸

| CÁC YẾU TỐ BÊN NGOÀI | CÁC YẾU TỐ BÊN TRONG |
|----------------------------------|--|
| Nhiệt độ | Thành phần axit amin |
| áp suất, | Trọng lượng phân tử |
| pH | Tương tác kỵ nước, |
| Nồng độ protein | tương tác tĩnh điện |
| Cường độ ion | Số lượng cầu nối disulfide và nhóm không có SH |
| Loại muối (hóa trị 1, hóa trị 2) | |

Hình 5. Các yếu tố ảnh hưởng đến mối tương tác protein-protein.²⁸

Cấu trúc của một loại thực phẩm quyết định đến trạng thái bên ngoài, hình dạng (body), kết cấu, đặc tính cảm quan, sinh khả dụng và thành phần dinh dưỡng trong sản phẩm cuối cùng. Do đó, công thức và điều kiện chế biến cụ thể có thể được sử dụng để thiết kế các tương tác protein-protein cụ thể, mà cuối cùng là dẫn đến sự phát triển các loại thực phẩm có cấu trúc khác nhau. Các kiểu tương tác protein khác nhau phụ thuộc vào môi trường trong hệ thống thực phẩm được tóm tắt trong **Hình 6**. Do đó, những hiểu biết về cấu trúc protein và các tương tác protein-protein được sử dụng trong việc phát triển các loại nguyên liệu sữa với các chức năng riêng biệt cũng như trong việc phát triển các loại thực phẩm và đồ uống cuối cùng.

Đây là cơ hội để kết hợp những hiểu biết về mối quan hệ giữa cấu trúc và chức năng, các tương tác protein-protein và những tính năng để làm thay đổi đầu ra của quá trình xử lý như cách thức biến tính và kết cụm của protein sữa. Ví dụ, protein sữa có đặc tính ổn định, giữ nước và nhũ tương tuyệt vời. Các tính chất này có thể được tối ưu hóa để phát triển các loại thực phẩm sạch (ví dụ, giảm thiểu việc sử dụng các chất ổn định và chất nhũ hoá). Để đạt được kết cấu thực phẩm thích hợp đòi hỏi phải kết hợp các kiến thức về tính chất hóa lý và các tương tác của protein với quá trình chế biến và xây dựng công thức chế biến.



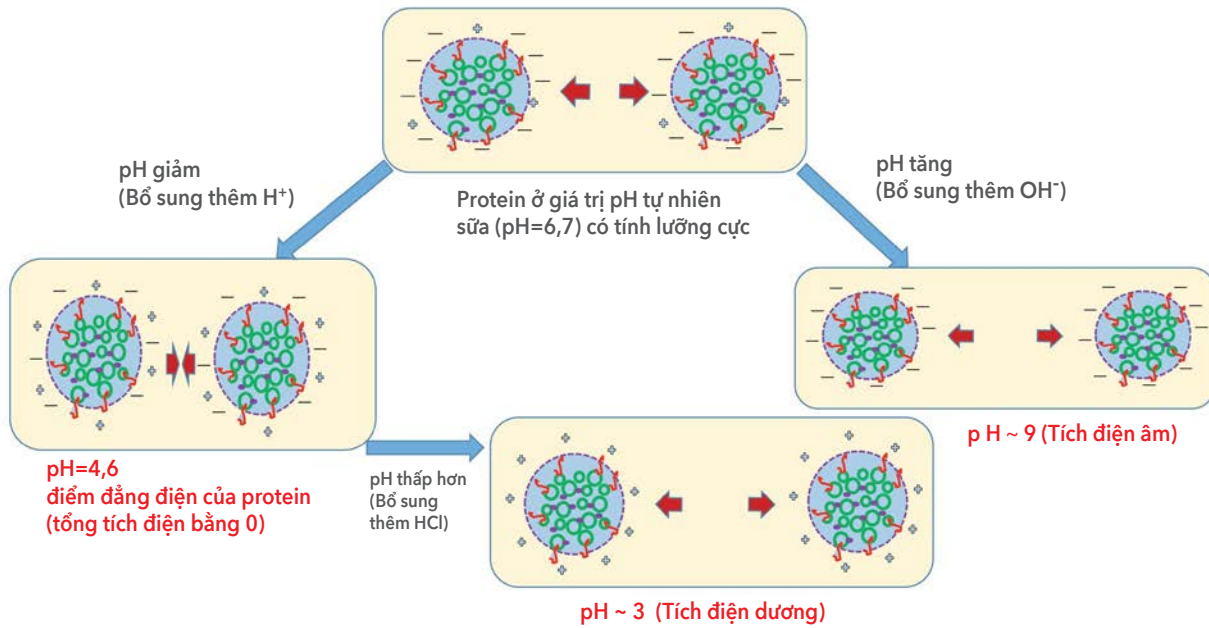
Hình 6. Sơ đồ biểu thị khả năng điều khiển các mối tương tác protein do ảnh hưởng của các thông số và công thức chế biến.²⁹

Những thay đổi trong cấu trúc protein và tương tác giữa protein với protein cũng như tương tác của protein với các thành phần khác trong hệ thống thực phẩm tạo nên các đặc tính kết cấu và chức năng (ví dụ, gel, độ nhớt) của sản phẩm cuối cùng. Protein có thể tương tác với các protein hoặc với các thành phần khác có mặt trong hệ thống thực phẩm, chẳng hạn như tinh bột, chất béo và chất khoáng. Điều này làm cho hệ thống trở nên phức tạp hơn nhưng cũng tạo ra cơ hội để phát triển sản phẩm với kết cấu mới lạ.

Ví dụ, gel protein do có các hạt nhỏ chất béo chứa lipid nên có kết cấu mịn và độ bền gel cao.³⁰ Điều này cho thấy rằng cũng có thể điều khiển kết cấu độ mịn của sản phẩm cuối cùng bằng cách điều khiển các tương tác giữa protein và lipid trong hệ thống thực phẩm.

Tổng diện tích của phân tử protein tại một giá trị pH nhất định là quan trọng vì nó ảnh hưởng đến lực đẩy tĩnh điện và tương tác của protein (**Hình 7**).^{31,32} Các lực đẩy có thể được thay đổi bằng cách thay đổi pH của dung dịch protein hoặc bằng việc bổ sung các ion hoặc muối vào dung dịch protein, nhờ đó cho phép thiết kế các tương tác protein-protein.

Đây là một trong những lý do để giảm lực đẩy tĩnh điện khi tăng cường độ ion.³³ Các loại muối (ví dụ, các muối hóa trị 1 so với muối hóa trị 2) cũng ảnh hưởng đến sự tương tác protein-protein và các loại gel được hình thành. Nồng độ muối cần thiết để thay đổi vi cấu trúc của gel phụ thuộc vào vị trí của muối trong chuỗi phân loại Hofmeister.³⁴



Hình 7. Tổng điện tích âm: Sơ đồ biểu thị ảnh hưởng của pH đến điện tích của các phân tử protein và các tương tác protein.³⁵

CHỨC NĂNG CỦA PROTEIN SỮA

Không chỉ là nguồn dinh dưỡng tuyệt vời, protein sữa còn đóng một vai trò quan trọng trong việc tạo ra những tính năng mong muốn trong sản phẩm cuối cùng. Nguyên liệu sữa được sử dụng như là những nguyên liệu chức năng cho một loạt các ứng dụng trong ngành công nghiệp thực phẩm (**Bảng 5**). Các nguyên liệu như bột sữa nguyên kem (WMP), bột sữa gầy (SMP), protein sữa cô đặc (MPC), Whey protein cô đặc (WPC) và Whey protein phân lập (WPI) được sử dụng trong các công thức của đồ uống thay thế bữa ăn dinh dưỡng và các sản phẩm sữa tiệt trùng (recombined milk).

Trong nhiều trường hợp, những loại thực phẩm và đồ uống này được xử lý nhiệt cao bằng phương pháp tiệt trùng UHT, khử trùng bằng hơi nước để kéo dài thời hạn sử dụng và đảm bảo an toàn thực phẩm cho người tiêu dùng. Vì vậy, nguyên liệu sữa dành cho các ứng dụng trong thực phẩm và nước giải khát đòi hỏi phải có hệ thống protein duy trì khả năng hòa tan của nó, chẳng hạn như trong các loại nước giải khát uống liền (ready-to-drink (RTD)), phải có khả năng chịu nhiệt và có khả năng chịu được những phương pháp xử lý nhiệt nghiêm ngặt nhất.

Khả năng chịu nhiệt là khả năng của protein không có những thay đổi bất lợi sau quá trình xử lý nhiệt nghiêm ngặt, chẳng hạn như độ đục quá mức, tăng độ nhớt, tách lớp, kết tủa hoặc gel hóa trong hoặc ngay sau quá trình xử lý.⁴¹ Khả năng ổn định nhiệt của sữa là một chức năng của protein sữa.⁴² Việc sử dụng nhiệt trong quá trình xử lý dẫn đến các mức độ biến tính và kết tủa khác nhau, kết quả là làm ảnh hưởng đến độ đặc hay sự hóa keo của hỗn hợp.⁴³ Trong một số trường hợp mà khả năng chịu nhiệt là yêu cầu bắt buộc thì sự biến tính và kết tủa của whey protein là có thể gây hại. Ví dụ về hậu quả do tính chịu nhiệt kém trong quá trình chế biến là:

- Hạn chế về hàm lượng các chất rắn (tổng các chất rắn) có thể được xử lý
- Hiệu suất xử lý giảm
- Giảm thời gian và nhiệt độ chống chịu trong quá trình chế biến.

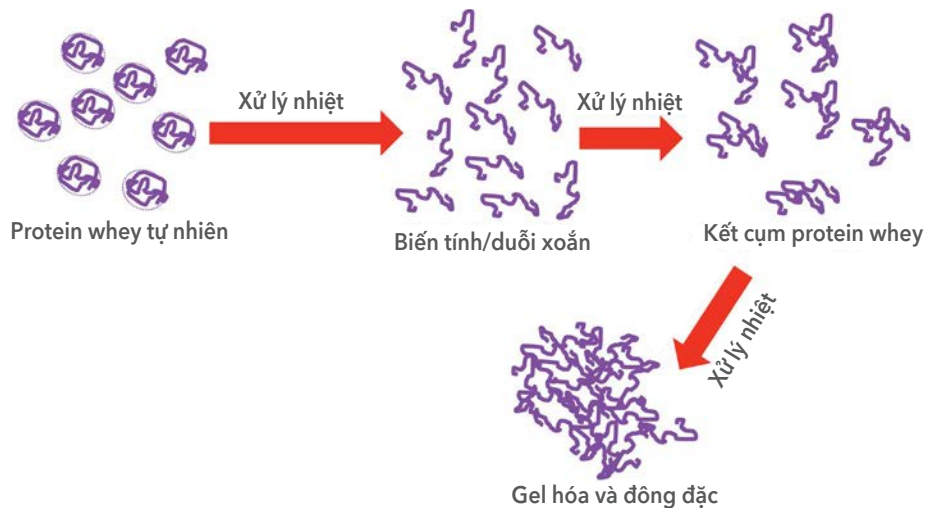
Do đó, khả năng chịu nhiệt là một trong những cân nhắc quan trọng nhất khi lựa chọn các nguyên liệu sử dụng trong thực phẩm và đồ uống.

Whey protein, nói riêng, có thể xảy ra biến tính, vón cục hay tạo gel do ảnh hưởng của nhiệt độ (**Hình 8**). Khả năng tạo gel do ảnh hưởng của nhiệt để đạt được các đặc tính về mặt cảm quan và kết cấu mong muốn trong thực phẩm là một tính năng quan trọng của protein whey. Những loại gel này có thể phân loại là "dạng sợi mảnh" hay "dạng hạt" (bởi dạng bên ngoài, vi cấu trúc hoặc đặc tính lưu biến). Các dạng cấu trúc này sẽ góp phần tạo ra các đặc tính kết cấu khác nhau của các thành phẩm. Phát triển các liên kết protein không cùng hóa trị (chủ yếu là các liên kết kỵ nước) và liên kết disulfite là có thể xảy ra trong quá trình protein whey kết tủa hay tạo gel.^{44,45,46}

BẢNG 5: NHỮNG TÍNH NĂNG CỦA NGUYÊN LIỆU SỮA VÀ ỨNG DỤNG CỦA CHÚNG TRONG CÁC SẢN PHẨM CUỐI CÙNG^{36,37,38,39,40}

| STT | ĐẶC TÍNH | MÔ TẢ | MỘT SỐ ỨNG DỤNG TIÊU BIỂU |
|-----|--|--|---|
| 1 | Liên kết nước | Tương tác với các thành phần khác của sản phẩm để làm tăng khả năng giữ nước | Thịt Bánh nướng Bánh kẹo Phô mai giả Các món tráng miệng đông lạnh Thực phẩm chế biến sẵn |
| 2 | Độ nhớt | Ảnh hưởng đến quá trình tương tác với các thành phần khác của sản phẩm, sự cô đặc, cấu trúc của protein và các quá trình xử lý nhiệt | Súp và nước sốt Sữa chua Bánh pudding Nước ngọt |
| 3 | Nhũ tương hóa | Khả năng duy trì hai chất lỏng không trộn lẫn vào nhau (ví dụ nước và dầu) trong một thể nhũ tương ổn định | Súp và nước sốt Sữa chua Bánh pudding Nước ngọt |
| 4 | Tạo bọt (foaming) | Khả năng tạo thành dạng xốp ổn định ở bề mặt nước và khí cung cấp khả năng đánh nổi tuyệt vời (ví dụ: khả năng kết hợp và giữ không khí trong sản phẩm) | Kem Các món tráng miệng đông lạnh Kem đánh nổi và phủ trên mặt sản phẩm Bánh kẹo dẻo (ví dụ kẹo dẻo nougat, marshmallow) Bánh nướng và bánh mousse Bánh trứng (meringue) |
| 5 | Tinh đông đặc (gelation) | Cung cấp cấu trúc vật lý cho sản phẩm thực phẩm bằng các liên kết chéo protein cải thiện cảm nhận về sản phẩm trong một số ứng dụng cụ thể | Sữa chua Bánh nướng Bánh Custard Bánh kẹo Các sản phẩm thịt Thực phẩm chế biến sẵn |
| 6 | Khả năng hòa tan/ khả năng chịu nhiệt | Khả năng giữ độ hòa tan ở những điều kiện chế biến và nồng độ khác nhau, và một số điều kiện khác như thay đổi giá trị pH, nồng độ muối khoáng và xử lý nhiệt. | Sữa tiệt trùng, UHT, Sữa công thức Súp và sốt Thức ăn cho bệnh nhân và trẻ sơ sinh Bột kem pha cà phê Đồ uống thể thao Nước trái cây có bổ sung protein |
| 7 | Độ đục/độ trong | Cải thiện độ trong của các đồ uống thể thao có tính axit cao | Đồ uống có bổ sung sữa Đồ uống thể thao giàu protein Chocolate Bánh kẹo/caramen Xốt Nước chấm |
| 8 | Tăng cường màu sắc/ mùi vị | Thường kết hợp với phản ứng Maillard tạo ra những đặc tính mong muốn của sản phẩm như là lớp vỏ màu nâu và mùi vị caramen | Bánh kẹo, caramen Lớp phủ bên ngoài bánh kẹo Bánh nướng (bánh dough, bánh bông lan, bánh muffin, bánh cracker) Súp/xốt |

Thông thường sự gel hóa protein được thực hiện bằng cách nung nóng, nhưng các quá trình xử lý bằng phương pháp vật lý và hóa học khác cũng có thể được sử dụng.⁴⁷ Áp suất là một phương pháp vật lý. Các tác nhân hóa học bao gồm axit, enzyme và muối. Chúng tạo ra những thay đổi trong cấu trúc của protein, các liên kết giữa các protein với nhau và giữa protein với các thành phần khác trong dung dịch. Đặc điểm của từng gel sẽ khác nhau tùy thuộc vào các yếu tố như nồng độ protein, mức độ biến tính gây ra bởi độ pH, nhiệt độ, cường độ ion và / hoặc áp suất.⁴⁸ Các tương tác giữa protein với protein và giữa protein với dung môi cũng đã được báo cáo là chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố gây ra gel hóa protein cũng như ảnh hưởng đến các loại và tính chất của gel.^{49,31}



Hình 8. Ảnh hưởng của phương pháp xử lý nhiệt cao (ví dụ như tiệt trùng UHT hoặc khử trùng bằng hơi nước) đến dung dịch protein whey. Xử lý nhiệt cao có thể dẫn đến sự biến tính, kết cụm và gel hóa hoặc đông đặc protein whey.

XỬ LÝ NHIỆT VÀ PROTEIN SỮA: ẢNH HƯỞNG ĐẾN CHỨC NĂNG

Xử lý nhiệt là hoạt động chủ yếu thường được sử dụng trong các ngành công nghiệp sữa để tạo ra các sản phẩm an toàn về vi sinh, kéo dài thời hạn sử dụng và thay đổi một số tính năng của các sản phẩm sữa^{17,14,4,50,51} **Bảng 6** liệt kê ví dụ về các phương pháp xử lý nhiệt phổ biến nhất được sử dụng trong chế biến sữa.^{17,14}

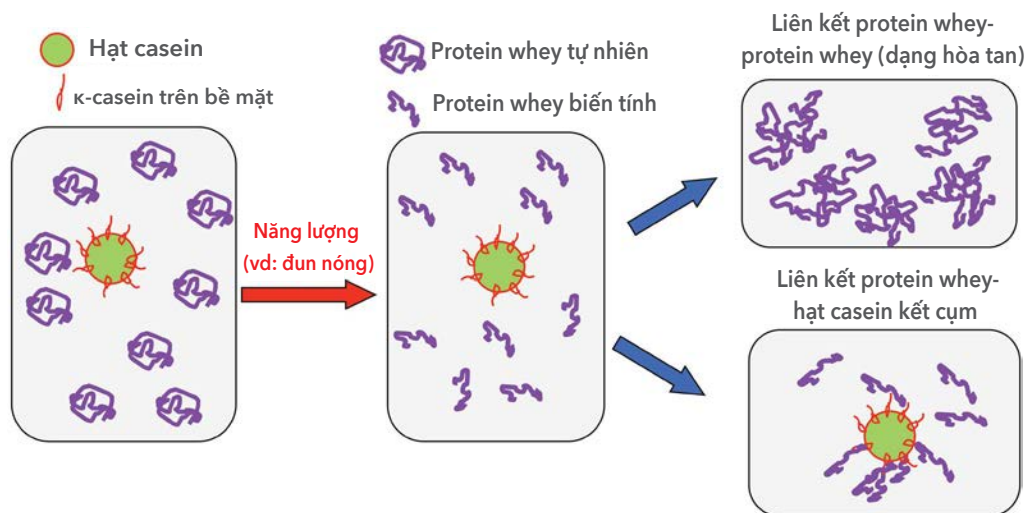
BẢNG 6. CÁC PHƯƠNG PHÁP XỬ LÝ NHIỆT THÔNG DỤNG TRONG QUÁ TRÌNH XỬ LÝ SỮA VÀ PROTEIN SỮA DÙNG TRONG THƯƠNG MẠI^{17,14}

| PHƯƠNG PHÁP XỬ LÝ NHIỆT | NHIỆT ĐỘ/ THỜI GIAN XỬ LÝ |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| Đun nóng | 65°C/30 giây |
| Thanh trùng Pasteur | 72°C/15 giây |
| Xử lý tiền nhiệt cho sản xuất bột sữa | 80 đến 120°C/2 đến 10 phút |
| Xử lý tiền nhiệt để sản xuất sữa chua | 90°C/5 đến 10 phút |
| Tiệt trùng UTH | 140°C/3 đến 20 giây |
| Tiệt trùng bằng hơi nước | 110 đến 120°C/5 đến 20 phút |

Tất cả những phương pháp xử lý nhiệt đều dẫn đến sự biến tính, kết cụm và tương tác của protein ở các mức độ khác nhau.^{50,52,53}

Globulin miễn dịch, lactoferrin và albumin sữa bò (BSA) đều nhạy cảm với quá trình xử lý nhiệt. Biến tính một phần của những protein này xảy ra trong quá trình thanh trùng Pasteur. β -LG và α -LA bị biến tính mạnh hơn trong quá trình xử lý nhiệt để sản xuất sữa bột và trong tiệt trùng bằng phương pháp UTH. Tùy thuộc vào mức độ của phương pháp xử lý nhiệt, chúng tạo ra các chất kết tụ có trọng lượng phân tử cao bằng các liên kết disulfide hoặc các liên kết kỵ nước với tỷ lệ khác nhau. Ngoài ra, việc hình thành các phân tử hòa tan như các chất nhị phân tử hoặc/và tam phân tử của β -LG, α -LA và BSA, tạo ra các phức hợp thông qua liên kết disulfite giữa casein (κ -CN và α s2-CN) và whey protein.^{50,54,52} Các tương tác được hình thành từ những quá trình như vậy cũng có thể có liên quan đến các tính năng đặc biệt.

Khi đun nóng sữa với sự có mặt của cả casein và protein whey, protein whey tương tác với các hạt casein để tạo thành phức hợp protein whey-casein (**Hình 9**).^{55,56, 52,53} Hầu hết các nghiên cứu kết luận rằng phản ứng trao đổi thiol/disulfide, đều dẫn đến sự hình thành liên kết disulfide giữa các phân tử, chúng đóng một vai trò quan trọng trong quá trình kết cụm β -LG gây ra bởi nhiệt và tương tác của nó với các protein khác, bao gồm cả casein. Các nghiên cứu cũng báo cáo rằng, các dạng kết cụm của protein sữa tạo ra bởi các liên kết cộng hóa trị (disulfide) giữa các phân tử, tương tác không cùng hóa trị (chẳng hạn như các tương tác kỵ nước hoặc ion) cũng là các tương tác chịu ảnh hưởng của nhiệt độ. Các tương tác giữa β -LG và κ -CN được coi là rất quan trọng đối với tính chất của nhiều sản phẩm sữa. Liên kết disulfide và nhóm sulfhydryl (-SH-) tự do có mặt trong cấu trúc tự nhiên của β -LG đóng một vai trò quan trọng trong tương tác do nhiệt gây ra giữa nó với κ -CN (**Hình 9**).^{57,14,58,59,52}



Hình 9. Sơ đồ các tương tác protein có thể có trong hệ thống sữa được xử lý nhiệt

Một số ví dụ điển hình về các tác dụng có lợi của chức năng cảm ứng nhiệt của protein sữa bao gồm sự gel hóa của protein whey,³ phương pháp tiền xử lý nhiệt để cải thiện khả năng chịu nhiệt của sữa bột, các sản phẩm sữa tiệt trùng và sữa cô đặc;^{60,61} cải thiện tính năng của sữa bột;⁶² và cải thiện kết cấu của sữa chua.⁶³ Chủ đề này đã được trình bày chi tiết trong tổng quan.⁵²

XỬ LÝ NHIỆT VÀ PROTEIN WHEY: ẢNH HƯỞNG ĐẾN CHỨC NĂNG

Trong lúc làm nóng, whey protein có thể bị biến tính và hình thành kết cụm tan hoặc không tan (gel) bằng cách tương tác với các protein whey khác trong hệ thống (xem **Bảng 5** về mô tả các thuật ngữ).^{6 4,65,66,67,68,69,70 , 46,7 1,72,73} Điều đáng chú ý là các protein whey khác nhau có những phản ứng khác nhau với phương pháp xử lý nhiệt về mặt thay đổi hình dạng, thay đổi mô hình liên kết, hình thành các liên kết giữa các protein thông qua trao đổi liên kết disulfide và các liên kết kỵ nước bị biến đổi.

Có sự khác biệt rõ rệt trong các phương thức biến tính của protein whey riêng lẻ vì các protein whey khác nhau có nhiệt độ chuyển trạng thái khác nhau (**Bảng 7**). Do sự không đồng nhất của các hệ thống protein whey và do các protein riêng lẻ có phản ứng khác nhau với nhiệt nên nhiệt độ biến tính và kết cụm của protein whey phản ánh các phản ứng đặc trưng của các protein thành phần.⁷⁴

BẢNG 7: NHIỆT ĐỘ BIẾN TÍNH VÀ NỘI NĂNG (ENTHALPY) CỦA PROTEIN WHEY ^{25,75,17}

| WHEY PROTEIN | TD (°C) | TTR (°C) | ΔH (kJ/mol) |
|--------------|---------|----------|---------------------|
| β -LG | 78 | 83 | 311 |
| α -LA | 62 | 68 | 253 |
| BSA | 64 | 70 | 803 |
| Ig | 72 | 89 | 500 |

TD = Nhiệt độ biến tính ban đầu (the initial denaturation temperature);

TTR = Nhiệt độ ở các đỉnh đo nhiệt lượng cực đại khác nhau (the temperature at the differential scanning calorimetry peak maximum);

ΔH = Enthalpy của quá trình biến tính (the enthalpy of denaturation).

MỘT SỐ ỨNG DỤNG THƯƠNG MẠI CỦA VIỆC XỬ LÝ NHIỆT ĐẾN TÍNH NĂNG CỦA PROTEIN

1. Sữa chua

Phương pháp xử lý nhiệt trước đối với sữa (ví dụ, 90°C trong 10 phút) thường được áp dụng trong sản xuất sữa chua và các nghiên cứu cho thấy là đã cải thiện được các đặc tính về kết cấu, vi cấu trúc và tính chất lưu biến của sữa chua.^{76,77} Các tương tác do nhiệt gây ra giữa β -LG và κ -CN qua trao đổi sulfhydryl-disulfide được cho là nguyên nhân của sự cải thiện trong kết cấu của sữa chua.^{14,52} Ngoài ra, sữa chua làm từ sữa đã được xử lý nhiệt sẽ gel hóa ở giá trị pH cao hơn và tạo gel săn chắc hơn đáng kể hơn so với sữa chua làm từ sữa không xử lý nhiệt.^{76, 63,56,78}

2. Sữa bột

Trong sản xuất sữa bột, các phương pháp xử lý nhiệt trước được áp dụng đối với sữa với mục đích sản xuất các loại sữa bột với các tính năng riêng biệt. Bột sữa tách kem được phân thành các loại như bột xử lý nhiệt độ thấp, trung bình và cao. Cách phân loại này thường được dựa trên các chỉ số đậm của protein whey (WPNI) với lượng protein whey không bị biến tính có mặt trong sữa bột. Nó liên quan đến sự biến tính của protein whey như là kết quả của quá trình xử lý nhiệt cụ thể được sử dụng trong suốt quá trình sản xuất sữa bột, đặc biệt là trong quá trình tiền xử lý nhiệt, quá trình bốc hơi nước và sấy khô.⁵¹ Cuối cùng, sự tương tác giữa các protein whey bị biến tính và các hạt casein ảnh hưởng đến chức năng của sữa bột. Những tương tác protein cũng ảnh hưởng đến cách biểu hiện của hạt casein trong các quá trình xử lý tiếp theo như quá trình bốc hơi hay sấy khô.⁷⁹ Trong quá trình bốc hơi, các hạt casein tăng kích thước chủ yếu là do sự kết hợp của các hạt casein với nhau hay sự kết giữa protein whey với các hạt casein.

Trong quá trình sản xuất các loại sữa bột có hàm lượng protein cao, cô đặc sữa bằng phương pháp siêu lọc, đặc biệt là lọc hai lần trước khi sấy khô, có thể gây tan rã keo calcium phosphate, dẫn đến việc rời lỏng cấu trúc hạt casein và có thể làm cho các hạt casein phồng lên. Việc gia tăng mức độ tập trung có thể làm vỡ cấu trúc hạt từ hạt nguyên vẹn thành các hạt sưng phồng lên và cuối cùng là tạo ra các mảnh cấu trúc hạt bị vỡ. Những thay đổi như vậy trong hạt casein sẽ làm tăng thêm các tương tác protein-protein trong sữa trong quá trình sấy phun và, do đó, tác động đến các chức năng của nguyên liệu.^{79,80,81}

NHỮNG BIẾN ĐỔI KHÔNG DO NHIỆT ẢNH HƯỞNG ĐẾN TÍNH NĂNG CỦA PROTEIN SỮA

Những tính năng và sự ổn định của protein sữa như độ nhớt, gel hóa, nhũ tương có thể bị thay đổi thông qua sự thay đổi tính chất hóa lý của protein sữa (ví dụ như sử dụng nhiệt, tốc độ khuấy, áp suất cao, sóng siêu âm, độ pH, cường độ ion và sự tích điện); các biến đổi do enzyme (ví dụ, transglutaminase (TGase) thay đổi liên kết ngang của protein); hoặc thông qua biến đổi về mặt hóa học (ví dụ, quá trình succinyl hóa, lactose hóa và liên kết cộng hóa trị cho - nhận (ligand)). Các phương thức này có thể được sử dụng để điều chỉnh các tính năng của protein sữa để đáp ứng mong đợi của khách hàng.

Enzyme liên kết ngang và những biến đổi của protein sữa qua TGase đã được báo cáo là tăng cường các tính năng của protein sữa,⁸² bao gồm tăng độ bền, khả năng giữ nước⁸³ và độ nhớt của gel.^{84,85,86} Điều này cho phép mở ra tiềm năng sản xuất sữa chua ít béo mà không cần bổ sung thêm chất gôm⁸⁶ và có thể giúp ngăn chặn hiện tượng tách huyết thanh sữa hoặc đông đặc gây ra bởi những thay đổi về nhiệt độ hay tác động vật lý. Xử lý TGase đối với protein sữa cũng có thể tăng cường sự ổn định đối với nhiệt độ của protein sữa.^{87,88,89} Các thay đổi do hoạt động của enzyme cũng có thể giúp cải thiện đặc tính hoạt động bề mặt và nhũ tương hóa của protein sữa.⁹⁰

Những thay đổi hóa học như quá trình succinyl hóa protein sữa⁹¹ có khả năng phát triển các sản phẩm mới thông qua hình thành các phức hợp ổn định tĩnh điện giữa các protein có nguồn gốc anion và các dẫn xuất protein có tổng điện tích dương. Lớp màng của các vi hạt sodium casein sẽ phân thành các lớp màng mỏng qua bước chuyển tiếp đóng một vai trò quan trọng trong sự ổn định của nhũ tương thực phẩm.^{92,90}

Gần đây, phương pháp xử lý protein sữa bằng carbon dioxide được sử dụng để tối ưu hóa tỷ lệ dạng hạt và không dạng hạt của casein của protein sữa trong sản xuất sữa chua nhằm điều chỉnh độ sệt, kết cấu và hương vị. Nó cũng đã được sử dụng để cải thiện những tính năng (tính tan, khả năng nhũ tương hóa và tính chịu nhiệt) của MPC và casein cô đặc dạng hạt (MCC).⁹³

Một phương pháp khác là xử lý bằng áp suất cao (HPP) cho việc bảo quản và thay đổi các đặc tính khác nhau của thực

phẩm, trong đó có sự thay đổi các tính năng của chúng.^{94,95,96,97,98} Phương pháp này đã được biết như là một công cụ vật lý gây biến đổi protein và, do đó, có tiềm năng để sản xuất các sản phẩm sữa mới có những tính năng và kết cấu thay đổi. HPP đã được chấp nhận sử dụng trong chế biến thực phẩm và bảo quản do nhu cầu của người tiêu dùng tăng đối với các sản phẩm thực phẩm an toàn về vi sinh vật, dinh dưỡng cao, nhãn hàng sạch, và "freshlike" với thời hạn sử dụng có thể chấp nhận được.^{99,94,95,96} Xử lý bằng HPP dẫn đến sự biến tính protein, kết cụm và gel hóa bằng cách thay đổi sự cân bằng tinh thể giữa các liên kết bảo đảm sự ổn định cấu trúc tự nhiên của protein.^{100,101,102,103,104} Tác động này khác với tác động của nhiệt và phụ thuộc vào loại protein, giá trị pH, cường độ ion, áp suất sử dụng và nhiệt độ điều áp, và thời gian xử lý áp suất.^{105,102,106,107}

Sự không ổn định có thể ảnh hưởng đến khả năng kết cụm và ảnh hưởng đến chức năng do áp suất gây ra như hình thành gel, tính chất vật lý, lưu biến và vi cấu trúc mô của các whey protein.^{108,109,110,111} Các chương giới thiệu một cách toàn diện về ảnh hưởng của HPP đến protein sữa có thể đã được tổng hợp lại.^{105, 102, 106, 107}

Xử lý bằng siêu âm là một công nghệ đang nổi lên trong các ứng dụng thực phẩm và sữa. Siêu âm dùng để chỉ các sóng âm thanh có tần số cao hơn tần số tối đa mà tai người có thể nghe được (~> 18 kHz). Khi sóng siêu âm đi qua một chất lỏng, kích thước của các bọt khí có mặt trong chất lỏng tăng lên do các bọt khí kết hợp lại và khuếch tán vào nhau. Khi những bọt khí đạt đến một kích thước tới hạn, chúng sẽ vỡ ra dưới điều kiện gần đoạn nhiệt (không sinh nhiệt hay mất nhiệt), tạo ra điều kiện khắc nghiệt trong chất lỏng xung quanh chúng như lực khuấy mạnh, sự nhiễu loạn và vi sóng. Hiện tượng này được gọi là sự tạo bọt âm thanh (acoustic cavitation),¹¹⁴ và những hiệu ứng vật lý này được sử dụng trong chế biến thực phẩm. Hiệu ứng vật lý siêu âm được sử dụng ngày càng nhiều trong chế biến sữa, được dùng để tăng cường siêu lọc whey,¹¹⁵ giảm độ nhớt sản phẩm,¹¹⁶ đồng nhất các giọt chất béo, làm thay đổi đặc tính lên men,¹¹⁷ kết tinh đường lactose¹¹⁸ và để cắt các khối phô mai.¹¹⁹

Do sự gia tăng tính sẵn có của các dòng siêu âm lớn, liên tục và hiệu quả nên chúng được chuyển từ phòng thí nghiệm sang các hoạt động thương mại trên khắp châu Âu và Hoa Kỳ.¹²⁰ Chế biến bằng siêu âm là một công nghệ chế biến thực phẩm quan trọng và có ý nghĩa tiềm năng để thay đổi các ứng dụng chức năng của protein sữa, cả whey và casein. Nó có khả năng thương mại rộng lớn và hoàn vốn đầu tư tốt.¹²⁰

KẾT LUẬN

Sữa, đặc biệt là protein sữa, là hệ thống dinh dưỡng tự nhiên hấp dẫn và phức tạp. Chúng có thể được chế biến thành nhiều loại sản phẩm đồ uống và thực phẩm có giá trị dinh dưỡng và hương vị tuyệt vời. Với sự phát triển của khoa học và công nghệ trong thực phẩm, chúng tôi liên tục nghiên cứu để khai thác tiềm năng của protein sữa nhằm cung cấp những lợi ích về chức năng và dinh dưỡng ngày càng tăng cho sự phát triển và tiếp thị các sản phẩm thực phẩm. Người tiêu dùng thực phẩm hiện nay ngày càng hiểu biết hơn, đòi hỏi các sản phẩm mới cũng như các sản phẩm cải thiện hương vị và kết cấu, tất cả cần phải có nhãn thành phần nguyên liệu đơn giản và rõ ràng. Sữa và các nguyên liệu sữa chiếm một vị trí riêng biệt, cung cấp cơ hội rộng mở cho các nhà khoa học thực phẩm nhằm đáp ứng và vượt quá mong đợi của người tiêu dùng

Để biết thêm thông tin những nghiên cứu về sữa nguyên liệu, vui lòng truy cập trang ThinkUSAdairy.org hoặc USDairy.com. Để có sự giúp đỡ về những sản phẩm mới hoặc cải tiến, vui lòng liên hệ với bộ phận Hỗ trợ Kỹ thuật Sữa tại địa chỉ techsupport@ThinkUSAdairy.org.

Tài liệu tham khảo

- 1 Privalov PL, Gill SJ. Stability of protein structure and hydrophobic interactions. *Adv Protein Chem.* 1988;39:191-234.
- 2 Paulsson M. *Thermal denaturation and gelation of whey proteins and their adsorption at the air/water interface.* Lund: Lund University, Sweden; 1990.
- 3 Singh H, Havea P. Thermal Denaturation, Aggregation and Gelation of Whey Proteins. In: Fox PF, McSweeney PFH, eds. *Advanced Dairy Chemistry, Volume 1: Proteins.* 3rd ed. New York, NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers; 2003:1257-1283.
- 4 Nishiura J. Lecture 2: Structures and Properties of Biological Molecules: Proteins. Retrieved from Brooklyn College Biology 4: http://academic.brooklyn.cuny.edu/biology/bio4fv/page/3d_prot.htm.
- 5 Considine T, Patel HA, Anema SG, Singh H, Creamer LK. Interactions of milk proteins during heat and high hydrostatic pressure treatments — A Review. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2007;8(1):1-23.
- 6 Walstra P, Jenness. R. *Dairy Chemistry and Physics.* John Wiley & Sons, New York; 1984.
- 7 Fox PF. Milk Proteins: General and Historical Aspects. In: Fox PF, McSweeney PLH, eds. *Advanced Dairy Chemistry, Volume 1: Proteins.* 3rd ed. New York, NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers; 2003:1-48.
- 8 O'Mahony JA, Fox PF. Milk Proteins: Introduction and Historical Aspects. In: McSweeney PLH, Fox PF, eds. *Advanced Dairy Chemistry, Volume 1A, Proteins: Basic Aspects.* 4th ed. New York, NY: Springer Science+Business Media; 2013:43-85.
- 9 Huppertz T. Chemistry of caseins. In: McSweeney PLH, Fox PF, eds. *Advanced Dairy Chemistry, Volume 1A: Proteins: Basic Aspects.* 4th ed. New York, NY: Springer Science+Business Media; 2013:135-160.
- 10 Swaisgood HE. Chemistry of the caseins. In: Fox PF, McSweeney PLH, eds. *Advanced Dairy Chemistry, Volume 1: Proteins.* 3rd ed. New York, NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers; 2003:139-201.
- 11 de Kruijff CG, Holt C. Casein Micelle Structure, Functions and Interactions. In: Fox PF, McSweeney PLH, eds. *Advanced Dairy Chemistry, Volume 1: Proteins.* 3rd ed. New York, NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers; 2003:233-276.
- 12 Fox PF. Heat-induced coagulation of milk. In: Fox PF, ed. *Developments in Dairy Chemistry, Volume 1: Proteins.* London, England: Applied Science Publishers; 1982:189-228.
- 13 Singh H, Creamer LK. Heat stability of milk. In: Fox PF, ed. *Advanced Dairy Chemistry—1 Proteins.* 2nd ed. London, England: Elsevier Applied Science Publishers; 1992:621-656.
- 14 Singh H. Heat-induced changes in casein, including interactions with whey proteins. In: Fox PF, ed. *Heat-induced Changes in Milk,* 2nd ed. Brussels, Belgium: International Dairy Federation; 1995:86-104.
- 15 Huppertz T, Smiddy MA, de Kruijff CG. Biocompatible Micro-Gel Particles from Cross-Linked Casein Micelles. *Biomacromolecules.* 2007;8(4):1300-1305.
- 16 Donovan M, Mulvihill DM. Thermal Denaturation and Aggregation of Whey Proteins. *Ir J Food Sci Tech.* 1987;11(1):87-100.
- 17 Jelen P, Rattray W. Thermal denaturation of whey proteins. In: Fox PF, ed. *Heat-induced changes in milk.* 2nd ed. Brussels, Belgium: International Dairy Federation; 1995:66-85.
- 18 Mulvihill DM, Donovan M. Whey Proteins and Their Thermal Denaturation - A Review. *Ir J Food Sci Technol.* 1987;11:43-47.
- 19 Pearce RJ. Thermal denaturation of whey protein. *Int Dairy Fed Bull.* 1989;238:17-23.
- 20 Sawyer L. β -Lactoglobulin. In: Fox PF, McSweeney PLH, eds. *Advanced Dairy Chemistry, Volume 1: Proteins.* 3rd ed. New York, NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers; 2003:319-386.
- 21 de Wit JN. Thermal Stability and Functionality of Whey Proteins. *J Dairy Sci.* 1990;73(12):3602-3612.
- 22 Mulvihill DM. Production, functional properties and utilization of milk protein products. In: Fox PF, ed. *Advanced Dairy Chemistry, Volume 1, Proteins.* London, England: Elsevier Applied Science; 1992:369-404.
- 23 Morr CV, Foegeding EA. Composition and functionality of commercial whey and milk protein concentrates and isolates: a status report. *Food Technol.* 1990;44(8):100-112.
- 24 Huffman LM. Processing of whey for use as a food ingredient. *Food Technol.* 1996;50(2):49-52.
- 25 de Wit JN. Functional properties of whey proteins in food systems. *Neth Milk Dairy J.* 1984;38:71-89.
- 26 de Wit JN. *The use of whey protein products. A review.* Ede, Neth: NIZO; 1989.
- 27 Messens W, Van Camp J, Huyghebaert A. The use of high pressure to modify the functionality of food proteins. *Trends Food Sci Technol.* 1997;8(4):107-112.
- 28 Phillips LG, Whitehead DM, Kinsella J. Protein Gelation. In: Phillips LG, Taylor SL, eds. *Structure—Function Properties of Food Proteins.* San Diego, CA: Academic Press, Inc.; 1994:179-204.
- 29 Livney YD. Milk proteins as vehicles for bioactives. *Curr Op Colloid Interface Sci.* 2010;15(102):73-83.
- 30 Sikorski ZE. *Chemical and functional properties of food components.* 2nd ed. Lancaster, PA: Technomic Publishing Company, Inc.; 1997:119-160.
- 31 Kinsella JE, Rector DJ, Phillips LG. Physicochemical properties of proteins: Texturization via gelation, glass and film formation. In: Yada RY, Jackman RL, Smith JL, eds. *Protein Structure-Function Relationship in Foods.* New York, NY: Springer Science+Business Media; 1994:1-21.
- 32 Zayas JF. *Functionality of Proteins in Foods.* Berlin: Springer-Verlag; 1997:310-365.
- 33 Foegeding EA, Bowland EL, Harding CC. Factors that determine the fracture properties and microstructure of globular protein gels. *Food Hydrocolloids.* 1995;9(4):237-249.
- 34 Bylund G. *Dairy processing handbook.* Lund, Sweden: Tetra Pak Processing Systems AB; 1995.
- 35 Mulvihill DM, Kinsella JE. Gelation of β -Lactoglobulin: Effects of Sodium Chloride and Calcium Chloride on the Rheological and Structural Properties of Gels. *J Food Sci.* 1988;53(1):231-236.
- 36 Huppertz T, Patel H. Advances in Milk Protein Ingredients. In: Ghosh D, Das S, Debasis B, Smart RB, eds. *Innovation in Healthy and Functional Foods.* London, England: CRC Press; 2012:363-386.
- 37 Morr CV. Functional properties of milk proteins and their use as food ingredients. In: Fox PF, ed. *Development in Dairy Chemistry.* London, England: Applied Science Publishers; 1982:375-379.
- 38 DairyGood website. dairygood.org. Accessed June 24, 2015.
- 39 Canadian Dairy Commission website. <http://www.milkingredients.ca/>. Accessed June 24, 2015.
- 40 Patel H. Prepared Food Application of Milk Powders and Dairy Ingredients. In: Lagrange V, ed. *Reference Manual for U.S. Milk Powders: 2015 Revised Edition.* Arlington, VA: US Dairy Export Council; 2015.
- 41 Burrington KJ, Agrawal S. *Technical Report: Whey Protein Heat Stability.* Arlington, VA: US Dairy Export Council; 2012.
- 42 Singh H. Heat stability of milk. *Int J Dairy Technol.* 2004;57(2-3):111-119.
- 43 Singh H, Fox PF. Heat stability of milk: pH-dependent dissociation of micellar K casein on heating milk at ultra high temperatures. *J Dairy Res.* 1985;52(4):529-538.
- 44 Patel HA, Singh H, Anema SG, Creamer LK. Effects of Heat and High Hydrostatic Pressure Treatments on Disulfide Bonding Interchanges among the Proteins in Skim Milk. *J Agric Food Chem.* 2006;54(9):3409-3420.
- 45 Havea P, Singh H, Creamer LK, Campanella OH. Electrophoretic characterization of the protein products formed during heat treatment of whey protein concentrate solutions. *J Dairy Res.* 1998;65(1):79-91.
- 46 Havea P, Singh H, Creamer LK. Heat-induced aggregation of whey proteins: comparison of cheese WPC with acid WPC and relevance of mineral composition. *J Agric Food Chem.* 2002;50(16):4674-4681.
- 47 Aguilera JM. Gelation of whey proteins. *Food Technol.* 1995;49(10):83-89.

- 48 Totosaus A, Montejano JG, Salazar JA, Guerrero I. A review of physical and chemical protein-gel induction. *Int J Food Sci Tech*. 2002;37(6):589-601.
- 49 Hermansson, AM. Aggregation and denaturation involved in gel formation. In: Pour-EI A, ed. *Functionality and Protein Structure*. ACS Symposium Series 92. Washington, DC: American Chemical Society; 1979:81-103.
- 50 Patel HA, Anema SG, Holroyd SE, Singh H, Creamer LK. Methods to determine denaturation and aggregation of proteins in low-, medium- and high-heat skim milk powders. *Lait*. 2007;87(4-5):251-268.
- 51 Patel HA, Carroll T, Kelly AL. Nonthermal Preservation Technologies for Dairy Applications. In: Chandan RC, Kilara A, Shah NP, eds. *Dairy Processing & Quality Assurance*. Ames, IA: Wiley-Blackwell; 2008:465-482.
- 52 Anema SG. The whey proteins in milk: thermal denaturation, physical interactions and effects on functional properties of milk. In: Thompson A, Boland M, Harjinder S, eds. *Milk Proteins: From Expression to Food*. 1st ed. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Inc.; 2009:239-281.
- 53 Patel HA, Creamer LK. High pressure-induced interactions involving involving whey proteins. In: Thompson A, Boland M, Singh H, eds. *Milk Proteins: From Expression to Food*, 1st ed. Food Science and Technology: International Series. New York, NY: Elsevier Inc.; 2009:205-227.
- 54 Considine T, Patel HA, Singh H, Creamer LK. Influence of binding of conjugated linoleic acid and myristic acid on the heat- and pressure-induced unfolding and aggregation of β -lactoglobulin B. *Food Chem*. 2007;102(4):1270-1280.
- 55 Anema SG, Li Y. Further Studies on the Heat-induced, pH-dependent Dissociation of Casein from the Micelles in Reconstituted Skim Milk. *Lebensm Wiss Technol*. 2000;33 (5):335-343.
- 56 Anema SG, Li Y. Association of denatured whey proteins with casein micelles in heated reconstituted skim milk and its effect on casein micelle size. *J Dairy Res*. 2003;70(1):73-83.
- 57 Jang HD, Swaisgood HE. Characteristics of the interaction of calcium with casein submicelles as determined by analytical affinity chromatography. *Arch Biochem Biophys*. 1990;283(2):318-325.
- 58 Corredig M, Dalgleish DG. The mechanisms of the heat-induced interaction of whey proteins with casein micelles in milk – effect of protein concentration at pH 6.75 and 8.05. *Int Dairy J*. 1999;9(3):233-236.
- 59 Cho Y, Singh H, Creamer LK. Heat-induced interactions of β -lactoglobulin A and κ casein B in a model system. *J Dairy Res*. 2003;70(1):61-71.
- 60 O'Connell JE, Fox PF. Heat-Induced Coagulation of Milk. In: Fox PF, McSweeney PLH, eds. *Advanced Dairy Chemistry, Volume 1: Proteins*. 3rd ed. New York, NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers; 2003:879-945.
- 61 Nieuwenhuijse JA, van Boekel MAJS. Protein Stability in Sterilised Milk and Milk Products. In: Fox PF, McSweeney PLH, eds. *Advanced Dairy Chemistry, Volume 1: Proteins*. 3rd ed. New York, NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers; 2003:947-974.
- 62 Kelly AL, O'Connell JE, Fox PF. Manufacture and Properties of Milk Powders. In: Fox PF, McSweeney PLH, eds. *Advanced Dairy Chemistry, Volume 1: Proteins*. 3rd ed. New York, NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers; 2003:1027-1061.
- 63 Lucey JA, Singh H. Acid Coagulation of Milk. In: Fox PF, McSweeney PLH, eds. *Advanced Dairy Chemistry, Volume 1: Proteins*. 3rd ed. New York, NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers; 2003:1001-1026.
- 64 McSwiney M, Singh H, Campanella OH. Thermal aggregation and gelation of bovine β lactoglobulin. *Food Hydrocolloids*. 1994;8(5):441-453.
- 65 McSwiney M, Singh H, Campanella OH, Creamer LK. Thermal gelation and denaturation of bovine β -lactoglobulins A and B. *J Dairy Res*. 1994;61(2):221-232.
- 66 Gezimatı J, Creamer LK, Singh H. Heat-induced Interactions and Gelation of Mixtures of β -Lactoglobulin and α -Lactalbumin. *J Agric Food Chem*. 1997;45(4):1130-1136.
- 67 Prabakaran S, Damodaran S. Thermal Unfolding of β -lactoglobulin: Characterization of Initial Unfolding Events Responsible for Heat-Induced Aggregation. *J Agric Food Chem*. 1997;45(11):4303-4308.
- 68 Manderson GA, Hardman MJ, Creamer LK. Effect of Heat Treatment on the Conformation and Aggregation of β -lactoglobulin A, B, and C. *J Agric Food Chem*. 1998;46(12):5052-5061.
- 69 Manderson GA, Creamer LK, Hardman MJ. Effect of heat treatment on the circular dichroism spectra of bovine β -lactoglobulin A, B, and C. *J Agric Food Chem*. 1999;47(11):4557-4567.
- 70 Havea P, Singh H, Creamer LK. Characterization of heat-induced aggregates of β lactoglobulin, α -lactalbumin and bovine serum albumin in a whey protein concentrate environment. *J Dairy Res*. 2001;68(3):483-497.
- 71 Schokker EP, Singh H, Pinder DN, Norris GE, Creamer LK. Characterization of intermediates formed during heat-induced aggregation of β -lactoglobulin AB at neutral pH. *Int Dairy J*. 1999;9(11):791-800.
- 72 Schokker EP, Singh H, Creamer LK. Heat-induced aggregation of β lactoglobulin A and B with α -lactalbumin. *Int Dairy J*. 2000;10(12):843-853.
- 73 Hong Y-H, Creamer LK. Changed protein structures of bovine β lactoglobulin B and α -lactalbumin as a consequence of heat treatment. *Int Dairy J*. 2002;12(4):345-359.
- 74 de Wit JN, Klarenbeek G. Effects of Various Heat Treatments on Structure and Solubility of Whey Proteins. *J Dairy Sci*. 1984;67(11):2701-2710.
- 75 Kinsella JE, Whitehead DM. Proteins in Whey: Chemical, Physical, and Functional Properties. *Adv Food Nutr Res*. 1989;(33):343-438.
- 76 Lucey JA, Singh H. Formation and physical properties of acid gels: a review. *Food Res Int*. 1998;30(7):529-542.
- 77 Tamime AY, Robinson RK. *Yoghurt: Science and Technology*. 2nd ed. Boca Raton, FL: Woodhead Publishing Ltd. and CRC Press LLC; 1999.
- 78 Anema SG, Li Y. Effect of pH on the Association of Denatured Whey Proteins with Casein Micelles in Heated Reconstituted Skim Milk. *J Agric Food Chem*. 2003;51(6):1640-1646.
- 79 Singh H. Interactions of milk proteins during the manufacture of milk powders. *Lait*. 2007;87(4-5):413-423.
- 80 Patel H, Huppertz T. Effects of High-pressure Processing on Structure and Interactions of Milk Proteins. In: *Milk Proteins: From Expression to Food*. 2nd ed. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Inc.; 2014:243-267.
- 81 Patel H, Patel S. *Technical Report: Milk Protein Concentrates: Manufacturing and Applications*. Arlington, VA: US Dairy Export Council; 2014.
- 82 Nonaka M, Tanaka H, Okiyama A, et al. Polymerization of Several Proteins by Ca^{2+} -Independent Transglutaminase Derived from Microorganisms. *Agric Biol Chem*. 1989;53(10):2619-2623.
- 83 Kuraishi C, Yamazaki K, Suga Y. Transglutaminase: Its utilization in the food industry. *Food Rev Int*. 2001;17(2):221-246.
- 84 Faergemand M, Sorensen MV, Jorgensen U, Budolfsen G, Qvist KB. Transglutaminase: effect on instrumental and sensory texture of set style yoghurt. *Milchwissenschaft*. 1999;54:563-566.
- 85 Bonisch MP, Huss M, Weit, K, Kulozik U. Transglutaminase cross-linking of milk proteins and impact on yoghurt gel properties. *Int Dairy J*. 2007;17(11):1360-1371.
- 86 Yüksel Z, Erdem YK. The influence of transglutaminase treatment on functional properties of set yoghurt. *Int J Dairy Technol*. 2010;63(1):86-97.
- 87 O'Sullivan MM, Kelly AL, Fox PF. Effect of Transglutaminase on the Heat Stability of Milk: A Possible Mechanism. *J Dairy Sci*. 2002;85(1):1-7.
- 88 O'Sullivan MM, Kelly AL, Fox PF. Influence of transglutaminase treatment on some physico-chemical properties of milk. *J Dairy Res*. 2002;69(3):433-442.
- 89 Mounsey JS, O'Kennedy BT, Kelly PM. Influence of transglutaminase treatment on properties of micellar casein and products made therefrom. *Lait*. 2005;85:405-418.
- 90 Kralova I, Sjöblom J. Surfactants Used in Food Industry: A Review. *J Dispers Sci Technol*. 2009;30(9):1363-1383.
- 91 Ibel K, May RP, Kirschner K, Szadkowski H, Mascher E, Lundahl P. Protein-decorated micelle structure of sodium-dodecyl-sulfate--protein complexes as determined by neutron scattering. *Eur J Biochem*. 1990; 190(2):311-318.
- 92 Dickinson E, Golding M, Povey M. Creaming and Flocculation of Oil-in-Water Emulsions Containing Sodium Caseinate. *J Colloid Interface Sci*. 1997;185(2):515-529.
- 93 Marella C, Salunke P, Biswas AC, Komineni A, Metzger LE. Manufacture of modified milk protein concentrate utilizing injection of carbon dioxide. *J Dairy Sci*. 2014;98(6):3577-3589.

- ⁹⁴ Datta N, Deeth HC. High pressure processing of milk and dairy products. *Aust J Dairy Technol.* 1999;54(1):41-48.
- ⁹⁵ Datta N, Deeth HC. High pressure processing. In: Roginski H, Fuquay JW, Fox PF, eds. *Encyclopedia of Dairy Sciences.* London, England: Academic Press; 2003:1327-1333.
- ⁹⁶ Huppertz T, Kelly AL, Fox PF. Effects of high pressure on constituents and properties of milk. *Int Dairy J.* 2002;12(7):561-572.
- ⁹⁷ Trujillo AJ, Capellas M, Saldo J, Gervilla R, Guamis B. Applications of high-hydrostatic pressure on milk and dairy products: a review. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2002;3(4):295-307.
- ⁹⁸ Claeys WL, Indrawati O, Van Loey AM, Hendrickx M. Review: are intrinsic TTIs for thermally processed milk applicable for high-pressure processing assessment? *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2003;4(1):1-14.
- ⁹⁹ Balny C, Masson P. Effects of high pressure on proteins. *Food Rev Int.* 1993;9(4):611-628.
- ¹⁰⁰ Balci AT, Wilbey RA. High pressure processing of milk – the first 100 years in the development of new technology. *Int J Dairy Technol.* 1999;52(4):149-155.
- ¹⁰¹ Tedford L-A, Kelly SM, Price NC, Schaschke CJ. Interactive Effects of Pressure, Temperature and Time on Molecular Structure of β -Lactoglobulin. *J Food Sci.* 1999;64(3):396-399.
- ¹⁰² Fertsch B, Müller M, Hinrichs J. Firmness of pressure-induced casein and whey protein gels modulated by holding time and rate of pressure release. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2003;4(2):143-150.
- ¹⁰³ Patel HA, Singh H, Anema SG, Creamer LK. Effects of heat and high hydrostatic pressure treatments on the aggregation of whey proteins in whey protein concentrate solutions. *Food New Zealand.* 2004;4(3):29-35.
- ¹⁰⁴ Patel H, Patel S. Major Characteristics of Milk Powders and Test Methods. In: Lagrange V, ed. *Reference Manual for U.S. Milk Powders: 2005 Revised Edition.* Arlington, VA: US Dairy Export Council; 2005.
- ¹⁰⁵ Messens W, Van Camp J, Huyghebaert A. The use of high pressure to modify the functionality of food proteins. *Trends Food Sci Technol.* 1997;8(4):107-112.
- ¹⁰⁶ Huppertz T, Fox PF, Kelly AL. High pressure treatment of bovine milk: effects of casein micelles and whey proteins. *J Dairy Res.* 2004;71(1):97-106.
- ¹⁰⁷ Huppertz T, Fox PF, Kelly AL. High pressure-induced denaturation of α -lactalbumin and β -lactoglobulin in bovine milk and whey: a possible mechanism. *J Dairy Res.* 2004;71(4):489-495.
- ¹⁰⁸ Walkenström P, Hermansson A-M. High-pressure treated mixed gels of gelatin and whey proteins. *Food Hydrocoll.* 1997;11(2):195-208.
- ¹⁰⁹ Van Camp J, Feys G, Huyghebaert A. High Pressure Induced Gel Formation of Haemoglobin and Whey Proteins at Elevated Temperatures. *Lebensm Wiss Technol.* 1996;29(1-2):49-57.
- ¹¹⁰ Van Camp J, Messens W, Clément J, Huyghebaert A. Influence of pH and Calcium Chloride on the High-Pressure-Induced Aggregation of a Whey Protein Concentrate. *J Agric Food Chem.* 1997;45(5):1600-1607.
- ¹¹¹ Arias M, López-Fandiño R, Olano A. Influence of pH on the effects of high pressure on milk proteins. *Milchwissenschaft.* 2000;55:191-194.
- ¹¹² Patel HA, Huppertz T. Effects of High-pressure Processing on Structure and Interactions of Milk Proteins. In: *Milk Proteins: From Expression to Food.* 2nd ed. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Inc.; 2014:243-267.
- ¹¹³ Patel HA, Carroll T, Kelly AL. Nonthermal Preservation Technologies for Dairy Applications. In: Chandan R, ed. *Dairy Processing and Quality Assurance.* 2nd ed. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell; 2015.
- ¹¹⁴ Ashokkumar M, Mason TJ, Sonochemistry. In: *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology.* Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2007. doi:10.1002/0471238961.1915141519211912.a01.pub2.
- ¹¹⁵ Muthukumar S, Kentish SE, Ashokkumar M, Stevens GW. Mechanisms for the ultrasonic enhancement of dairy whey ultrafiltration. *J Membrane Sci.* 2005;258(1-2):106-114.
- ¹¹⁶ Zisu B, Schleyer M, Chandrapala J. Applied ultrasound to reduce viscosity and control the rate of age thickening of concentrated skim milk. *Int Dairy J.* 2013;31(1):41-43.
- ¹¹⁷ Wu H, Hulbert GJ, Mount JR. Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2008;1(3):211-218.
- ¹¹⁸ Zisu B, Sciberras M, Jayasena V, Weeks M, Palmer M, Dincer TD. Sonocrystallisation of lactose in concentrated whey. *Ultrasonics Sonochem.* 2014;21(6):2117-2121.
- ¹¹⁹ Arnold G, Leiteritz L, Zahn S, Rohm H. Ultrasonic cutting of cheese: Composition affects cutting work reduction and energy demand. *Int Dairy J.* 2009;19(5):314-320.
- ¹²⁰ Patist A, Bates D. Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2008;9(2):147-154.

MỤC LỤC

| MỤC | TRANG |
|---|-------|
| Giới thiệu | 1 |
| Cấu trúc protein | 2 |
| Sự Biến tính protein | 3 |
| Protein sữa: Khái niệm, Tính chất hóa lý và cấu trúc | 3 |
| Caseins | 4 |
| Protein whey | 5 |
| Mối quan hệ giữa cấu trúc và chức năng của protein sữa | 6 |
| Chức năng của protein sữa | 8 |
| Xử lý nhiệt và protein sữa: Ảnh hưởng đến chức năng | 10 |
| Xử lý nhiệt và protein whey: Ảnh hưởng đến chức năng | 11 |
| Một số ứng dụng thương mại của việc xử lý nhiệt đến tính năng của protein | 12 |
| Những biến đổi không do nhiệt ảnh hưởng đến tính năng của protein sữa | 12 |
| Kết luận | 13 |
| Tài liệu tham khảo | 14 |

