

## SỬ DỤNG BIỆN PHÁP ĐÔNG LẠNH ĐỂ BẢO QUẢN THỊT BÒ

*Ngô Đình Tân*

**Trung tâm Nghiên cứu Bò và Đồng cỏ Ba Vì – Viện Chăn nuôi**

Tác giả liên hệ: Ngô Đình Tân. Tel: 0973213986. Email: ngodinhtanbv@gmail.com

### TÓM TẮT

Bảo quản thịt thông qua cấp đông đòi hỏi phải sử dụng nhiệt độ thấp để kéo dài thời hạn sử dụng của sản phẩm, chủ yếu bằng cách giảm tỷ lệ hư hỏng do vi sinh vật và các phản ứng hư hỏng. Các đặc điểm quan trọng của thịt cần được bảo quản bao gồm độ mềm, khả năng giữ nước, màu sắc và hương vị. Nói chung, đông lạnh cải thiện độ mềm của thịt, nhưng tác động tiêu cực đến các thuộc tính chất lượng khác. Mức độ ảnh hưởng của các thuộc tính chất lượng khác. Mức độ ảnh hưởng của các thuộc tính này phụ thuộc vào kích thước và sự phân bố của tinh thể băng, bản thân chúng bị chi phối bởi tốc độ đóng băng, nhiệt độ và thời gian bảo quản. Mặc dù công nghệ mới đã giúp giảm thiểu tác động tiêu cực của việc đông lạnh, nhưng bản chất phức tạp của mô cơ khiến việc dự đoán chính xác và nhất quán kết quả của chất lượng thịt sau khi đông lạnh là rất khó. Đánh giá này cung cấp một cái nhìn tổng quan về những kết quả hiện tại về năng lượng và sự truyền nhiệt trong quá trình cấp đông và ảnh hưởng của nó đến chất lượng thịt. Hơn nữa, đánh giá cung cấp một cái nhìn tổng quan về công nghệ mới hiện tại được sử dụng để cải thiện quy trình cấp đông.

**Từ khóa:** *Lão hóa khô, thịt bò, các thông số lão hóa*

### ĐẶT VẤN ĐỀ

Bảo quản thực phẩm để kéo dài thời hạn sử dụng đã được thực hiện từ rất lâu. Về cơ bản, bảo quản thực phẩm liên quan đến việc thay đổi các đặc tính vốn có của sản phẩm, chủ yếu là độ pH và hoạt độ của nước ( $A_w$ ), để ức chế sự phát triển của vi sinh vật gây bệnh, nấm mốc và bào tử. Các kỹ thuật bảo quản cũng được sử dụng để kiểm soát các phản ứng hóa học liên quan đến làm hư hỏng sản phẩm thực phẩm, chẳng hạn như phân giải lipid, oxy hóa lipid và phân giải protein. Một ví dụ trong đó cả các rào cản nội tại (pH và  $A_w$ ) đều được điều chỉnh là trong quá trình chế biến các sản phẩm thịt lên men ở dạng bột và khô, trong đó sản phẩm thường được cấy vi sinh vật để làm giảm độ pH và sau đó được làm khô (giảm  $A_w$ ) (Vignolo và cs., 2010). Tuy nhiên, việc thay đổi các đặc tính vốn có của sản phẩm ở mức độ này có nghĩa là sản phẩm không còn xem là "tươi", một thuật ngữ thường được người tiêu dùng ưa thích để gắn với thực phẩm của họ (Grasso và cs., 2014), đặc biệt liên quan đến các sản phẩm thịt. Ngoài ra, các sản phẩm thực phẩm có thể được bảo quản mà không cần thay đổi đáng kể đặc tính vốn có của chúng hi được bảo quản ở nhiệt độ rất thấp. Mặc dù bảo quản thông qua cấp đông có thể áp dụng cho nhiều loại hàng hóa thực phẩm, trong phạm vi bài này tập trung vào việc cấp đông thịt tươi.

Do lượng nước trong thịt tươi khoảng 60 đến 70% (Hammad và cs., 2019), các sản phẩm thịt dễ bị hư hỏng do vi sinh và các phản ứng hóa học có thể ảnh hưởng tiêu cực đến các khía cạnh của chất lượng thịt, chẳng hạn như màu sắc, kết cấu và hương vị (Dave và Ghaly, 2011). Đông lạnh được sử dụng rộng rãi bởi ngành công nghiệp thịt như một phương pháp bảo quản trong quá trình vận chuyển và lưu trữ. Tuy nhiên, đông lạnh có thể ảnh hưởng xấu đến các đặc tính chất lượng giống như nó được dùng để bảo quản, dẫn đến sản phẩm không được lòng người tiêu dùng. Vì vậy, thời gian và nghiên cứu rộng rãi đã được tiến hành để tìm hiểu những thay đổi vật lý và sinh hóa xảy ra trong thịt trong quá trình cấp đông và căn nguyên của những thay đổi này (Leygonie và cs., 2012). Do đó cần thiết tập trung vào sự tồn tại của các sản phẩm thịt tươi thông qua việc sử dụng phương pháp đông lạnh, tác động của việc đông lạnh đối với chất lượng thịt và các tiến bộ công nghệ đã được thực hiện để cải thiện chất lượng của

các sản phẩm thịt đông lạnh. Tuy nhiên, cần phải hiểu biết hợp lý về quá trình đóng băng và kết tinh của nước.

### **Quá trình đóng băng và kết tinh của nước**

Theo định nghĩa, quá trình đóng băng đề cập đến sự giảm chuyển động phân tử của các phân tử hiện có trong môi trường (Rahman và Velez-Ruiz, 2007). Trong thực phẩm cơ bắp, điều này chủ yếu đề cập đến sự giảm chuyển động ngẫu nhiên của các phân tử nước tồn tại trong mô. Sự đóng băng của nước trong thịt có thể được tóm tắt thành ba giai đoạn theo trình tự thời gian riêng biệt: 1) làm lạnh sản phẩm đến điểm đóng băng, 2) giai đoạn chuyển pha trong đó nhiệt tiềm ẩn được loại bỏ, và 3) sản phẩm đạt đến nhiệt độ cuối cùng của quá trình bảo quản (ủ) (Kiami và Sun, 2011). Đó là trong giai đoạn chuyển tiếp, các phân tử nước được định hướng theo cách kết tinh và các tinh thể nước đá được hình thành.

Trong giai đoạn kết tinh, hiện tượng tạo mầm và phát triển tinh thể xảy ra. Trong bối cảnh nước đóng băng, sự tạo ra mầm đề cập đến hình thành "phôi", hay tinh thể băng hạt nhân, sau này có thể phát triển thành một tinh thể băng lớn hơn. Có hai hình thức tạo mầm có thể xảy ra, đó là tạo mầm sơ cấp và tạo mầm thứ cấp. Sự tạo mầm sơ cấp đề cập đến sự hình thành các tinh thể mới trong môi trường mà không có tinh thể nào tồn tại trước đó. Một khi cấu trúc tinh thể đã được hình thành, sự phá vỡ cấu trúc đột ngột có thể xúc tác cho việc hình thành các tinh thể mới. Hiện tượng này được gọi là tạo hạt nhân thứ cấp, và cần ít năng lượng hơn để tạo thành hạt nhân ổn định so với tạo hạt nhân sơ cấp. Tương tự, trong một nền phức hợp với các thành phần khác nhau (ví dụ, protein và khoáng chất), tương tự như hệ thống thực phẩm, các thành phần này cũng có thể làm giảm năng lượng cần thiết để hình thành hạt nhân và hỗ trợ tạo mầm thứ cấp. Trong cả hai trường hợp, siêu lạnh, được định nghĩa là sự giảm nhiệt độ một cách tinh tế do sự sắp xếp ban đầu của các tinh thể nước, là động lực cần thiết cho sự tạo mầm.

### **Cân bằng năng lượng và truyền nhiệt trong quá trình kết tinh của nước**

Nói chung, tâm nhiệt của sản phẩm là điểm tham chiếu để xác định thời điểm kết thúc quá trình đông lạnh, và do đó thiết lập thời gian cấp đông tối ưu. Giải pháp thay thế cho điều này là thực hiện một loạt phép đo nhiệt độ trên toàn bộ vật thể và thiết lập nhiệt độ khối lượng trung bình. Tuy nhiên, nhiệt độ khối lượng trung bình có nhược điểm là yêu cầu thu thập dữ liệu rộng rãi để đưa ra các ước tính chính xác. Do đó, các phép đo tâm nhiệt được sử dụng thường xuyên hơn khi thiết lập thời gian đóng băng. Tổng thời gian cần thiết để một sản phẩm đạt đến nhiệt độ đóng băng cài đặt tại trung tâm nhiệt được gọi là thời gian cấp đông hiệu quả/tiêu chuẩn. Các sản phẩm thịt khác nhau về kích thước và hình dạng, và sau đó tốc độ cấp đông cũng khác nhau đáng kể giữa các sản phẩm. Do đó, một nỗ lực đã được thực hiện để thiết lập các thực hành cấp đông tốt hơn nhằm đạt được sản phẩm chất lượng cao. Về vấn đề này, các phương pháp tiếp cận mô hình hóa đã được tạo ra để dự đoán thời gian cấp đông lạnh cho các sản phẩm khác nhau. Chủ yếu, mô hình truyền nhiệt và truyền khối đã được sử dụng.

### **Cân bằng năng lượng**

Sự có mặt của các chất hòa tan trong mẫu thực phẩm về cơ bản có thể làm thay đổi nhiệt độ kết tinh của nước chứa chúng, khiến nó có giá trị thấp hơn nhiệt độ kết tinh của nước tinh khiết. Nói chung, độ lệch của nhiệt độ kết tinh của nước tinh khiết phụ thuộc vào loại chất tan có mặt (trọng lượng phân tử) và nồng độ của chúng (Singh và Heldman, 2014). Tương tự như vậy, các giá trị nhiệt lượng riêng của chất rắn phụ thuộc vào các thành phần cụ thể và trạng thái vật lý của chúng.

### **Truyền nhiệt và kết tinh nước trong thịt**

Tốc độ truyền nhiệt hoặc tốc độ đông lạnh bị ảnh hưởng bởi độ dốc truyền nhiệt độ giữa sản phẩm và môi trường cấp đông, các phương thức truyền nhiệt liên quan (đối lưu, dẫn truyền, bức xạ, hoặc sự kết hợp của chúng), hình dạng và kích thước của sản phẩm cũng như vật liệu đóng gói và đặc tính nhiệt của sản phẩm. Thực tế là nhiều đặc tính nhiệt (ví dụ, nhiệt riêng, độ dẫn nhiệt và áp suất thay đổi pha) theo dõi theo sự thay đổi của nhiệt độ có thể làm cho việc xác định tốc độ truyền nhiệt trở nên khó khăn. Do đó, điều này đã tạo ra nhu cầu phát triển các giải pháp đơn giản hóa để tính toán tốc độ truyền nhiệt và thời gian cần thiết để đông lạnh một sản phẩm. Các dung dịch này thường giả định các đặc tính nhiệt là không đổi như một hàm của nhiệt độ.

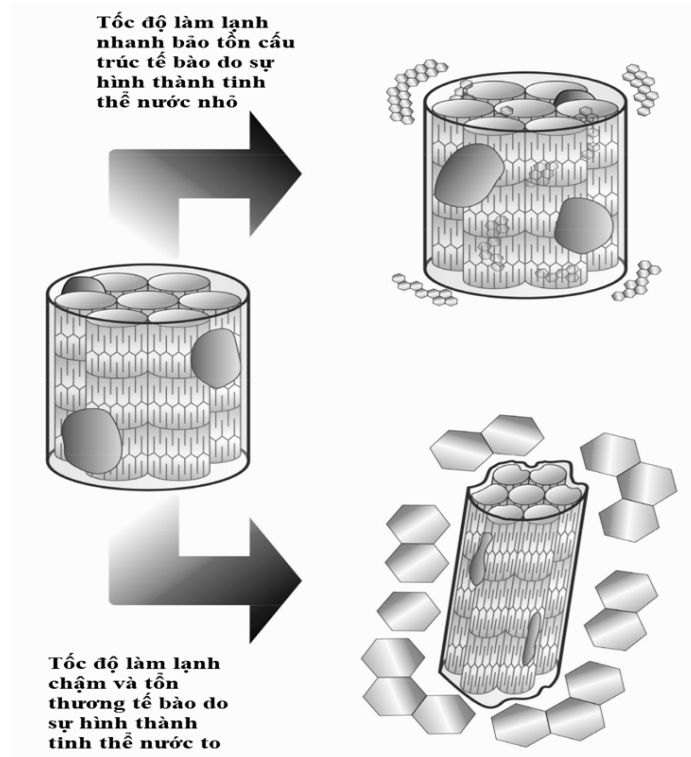
### **Bảo quản thịt bằng đông lạnh**

Thịt cung cấp môi trường tuyệt vời cho nấm men, nấm mốc và vi khuẩn gây bệnh phát triển, làm cho các sản phẩm thịt rất dễ hỏng. Các giống vi sinh vật điển hình thường được tìm thấy trên các sản phẩm thịt là: *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Alternaria*, *Enterococcus*, *Micrococcus*, *Manoscus*, *Pseudomonas* và *Penicillium* (Dave và Ghaly, 2011). Do mối đe dọa của chúng đối với sức khỏe con người, ngành công nghiệp thịt tuân theo các hướng dẫn nghiêm ngặt về an toàn thực phẩm để kiểm soát các vi sinh vật gây bệnh như *Salmonella* và *Escherichia*. Tuy nhiên, điều quan trọng là phải chỉ ra rằng việc ô nhiễm vào các sản phẩm thịt không thực sự xảy ra cho đến khi con vật được giết mổ và thân thịt đã được lột da. Nói chung, ô nhiễm vi sinh vật xảy ra trên bề mặt của toàn bộ miếng thịt, trong khi ở thịt xay, ô nhiễm vi sinh vật được phân bố khắp sản phẩm do sự trộn lẫn xảy ra trong quá trình sản xuất.

Ở cấp độ bán lẻ và người tiêu dùng, các sản phẩm thịt có thể được bảo quản tạm thời dưới nhiệt độ lạnh trong thời gian ngắn trước khi xảy ra hư hỏng. Mặt khác, thịt đông lạnh có thời hạn sử dụng kéo dài. Mặc dù đông lạnh không loại bỏ được các vi sinh vật nhưng nó ngăn chặn sự sinh sôi của vi sinh vật, do đó làm giảm tỷ lệ hư hỏng. Tuy nhiên, cần thận trọng khi rã đông sản phẩm thịt, vì nó sẽ dễ bị vi sinh vật phát triển (Leygonie và cs., 2012). Trong quá trình rã đông, thịt toát ra độ ẩm bên trong bề mặt, mang theo các chất dinh dưỡng cho sự phát triển của vi sinh vật (Leygonie và cs., 2012). Điều này có thể giải thích tại sao vi khuẩn trên bề mặt thịt đông lạnh/rã đông có giai đoạn trễ ngắn hơn so với vi khuẩn trên thịt tươi, ngụ ý rằng thời hạn sử dụng của các sản phẩm thịt có thể giảm sau khi rã đông. Do đó, USDA khuyến nghị rằng thịt đông lạnh nên được rã đông ở nhiệt độ lạnh để giảm nguy cơ hư hỏng và để bảo quản chất lượng tốt hơn (Eastridge và Bowker, 2011). Mặc dù đông lạnh chủ yếu được sử dụng để hạn chế sự hư hỏng của thịt, nhưng các đặc tính khác của thịt có thể bị ảnh hưởng bởi quá trình này.

### **Các khía cạnh của chất lượng thịt liên quan đến đông lạnh**

Tốc độ làm lạnh trong quá trình cấp đông có thể ảnh hưởng lớn đến cấu trúc vi mô và chất lượng tổng thể của thịt. Tốc độ làm lạnh chậm thúc đẩy sự hình thành các tinh thể băng lớn, và do đó, cấu trúc tế bào ban đầu biến dạng rõ rệt. Trong thịt, các tinh thể lớn cũng có thể làm hỏng cấu trúc myofibrillar về mặt cơ học và gây giảm khả năng giữ nước (WHC), do đó, tác động tiêu cực đến màu sắc, hương vị và độ mọng nước của sản phẩm (Wang và cs., 2020). Ngược lại, tốc độ làm lạnh cao hơn dẫn đến việc hình thành các tinh thể nhỏ hơn, và do đó ít làm hỏng cấu trúc tế bào hơn. Vì lý do này, tốc độ làm lạnh nhanh được ưu tiên sử dụng cho các sản phẩm thực phẩm cấp đông nói chung và các sản phẩm thịt nói riêng.



Hình 1. Ảnh hưởng của tốc độ làm lạnh đến tính toàn vẹn của tế bào (Schudel và cs., 2021; Kim và cs., 2018)

Bảng 1. Ảnh hưởng của tốc độ cấp đông (chậm so với nhanh hoặc không đông lạnh) và rã đông đến chất lượng thịt bò

Loại cơ	Nhiệt độ và thời gian bảo quản	Rã đông và lão hóa	Kết quả	Tài liệu tham khảo
Thịt thăn lưng sau 48 giờ giết mổ	-20°C trong 8 tuần	Rã đông ở 4°C trong 16 giờ; ủ trong 7 ngày	↓ WHC ↓ WBSF ↓ nước	Lagerstedt và cs., 2008
Thịt thăn lưng sau 24 giờ giết mổ	-18°C trong 9 tháng	Lão hóa 2 tuần	↓ WHC ↓ WBSF ↓ L*	Cho và cs., 2017
Thịt thăn lưng sau 24 giờ giết mổ	-18°C trong 2 tuần	Rã đông ở 3°C; lão hóa trong 4 tuần	↓ WHC	Kim và cs., 2015
Thịt thăn lưng sau 24 giờ giết mổ	-20°C trong 90 tuần	Rã đông ở 4°C trong 48 giờ; lão hóa từ 3 đến 10 ngày	↓ WHC ↑ độ mềm ↓ WBSF ↓ L*, a*, b*	Vieira và cs., 2009

Ghi chú: WHC: Độ mất nước; WBSF: Lực cắt Warner-Bratzler

Ngoài tốc độ làm lạnh, thời gian tiếp xúc ban đầu với nhiệt độ cấp đông là một yếu tố quan trọng khác phải được xem xét khi cấp đông các sản phẩm thịt. Một ví dụ cổ điển thể hiện khía cạnh này là trường hợp thịt đã trải qua quá trình rã đông. Rã đông xảy ra khi cơ bị đóng băng hoàn toàn sau đó được rã đông. Sự hình thành các tinh thể nước đã khi đông lạnh sẽ phá vỡ mạng lưới cơ chất trong tế bào cơ, dẫn đến giải phóng canxi đột ngột vào tế bào sau khi tan băng. Với sự có mặt của ATP, như trong trường hợp cơ prerigor, canxi bắt đầu co mạnh cơ, dẫn đến chiều dài sarcomere ngắn hơn và sản phẩm cứng hơn. Do đó, bắt buộc phải đông lạnh thịt sau khi hoàn thành quá trình làm mát (tức là cạn kiệt ATP), một sự kiện diễn ra trong 24 giờ đối với thịt bò (Matarneh và cs., 2017).

Trong điều kiện đông lạnh, thịt có thể được bảo quản trong một thời gian dài trước khi có thể nhận thấy các nhược điểm về chất lượng. Một số nghiên cứu đã đánh giá ảnh hưởng của thời gian đông lạnh đến chất lượng thịt (Fernandes và cs., 2013), cho thấy mối quan hệ tiêu cực nói chung giữa hai yếu tố này. Vieira và cs. (2009) nhận thấy lượng nước mất nhiều hơn và các giá trị  $L^*$  (nhạt),  $a^*$  (đỏ) và  $b^*$  (vàng) thấp hơn trong bít tết bò được đông lạnh trong 90 ngày so với bít tết đã bị đóng băng trong 30 ngày. Các nghiên cứu khác cố gắng xác định thời gian bảo quản tối ưu trong quá trình cấp đông. Thịt bò được bảo quản ở  $-18^{\circ}\text{C}$  ổn định trong 12 tháng. Bảo quản thịt trong thời gian dài ở nhiệt độ từ  $-18^{\circ}\text{C}$  đến  $-20^{\circ}\text{C}$  cho phép nước chưa đông lạnh tham gia vào các phản ứng hóa học với các phản ứng hóa học với các thành phần khác (ví dụ, protein và lipid), dẫn đến giảm chất lượng (Leygonie và cs., 2012). Người ta còn khuyến nghị rằng thịt nên được đông lạnh ở  $-40^{\circ}\text{C}$ , vì chỉ một phần nhỏ nước không bị đông đá ở nhiệt độ này. Tổng hợp lại, khuyến nghị thời gian bảo quản lý tưởng để đạt được mức giảm chất lượng tối thiểu là một thách thức vì các yếu tố như loài, tốc độ đông lạnh và nhiệt độ bảo quản cũng đóng vai trò quyết định chất lượng (Leygonie và cs., 2012).

### ***Độ mềm***

Độ mềm là một thuộc tính chất lượng quan trọng quyết định sự chấp nhận chung đối với các sản phẩm thịt của người tiêu dùng. Trong khi một số nghiên cứu báo cáo không ảnh hưởng (Kim và cs., 2015) hoặc tác động tiêu cực của việc đông lạnh đến độ mềm của thịt, phần lớn các nghiên cứu đã chỉ ra mối quan hệ tích cực giữa đông lạnh và độ mềm (Vieira và cs., 2009). Lagertedt và cs. (2008) đã quan sát thấy giảm khoảng 10 newton trong lực cắt WBSF của bít tết bò được đông lạnh trước khi lão hóa, so với bít tết đã được lão hóa nhưng không bao giờ đông lạnh. Tương tự như vậy, những người tham gia đánh giá cảm quan nhận thấy miếng thịt bò đông lạnh/rã đông mềm hơn các miếng thịt tươi. Tác động tích cực của đông lạnh đối với độ mềm cũng đã được quan sát thấy ở thịt lợn, thịt gà và thịt cừu. Sự tăng cường độ mềm này một phần do sự phá hủy cơ học cấu trúc myofibrillar của thịt bởi các tinh thể đóng băng (Leygonie và cs., 2012). Sử dụng kính hiển vi điện tử Qi và cs. (2012) quan sát thấy các dòng sarcomere M và Z suy yếu sau 5 chu kỳ đông lạnh-rã đông. Quan trọng hơn, nó liên kết những thay đổi siêu cấu trúc này với sự giảm độ cứng, độ dai và độ kết dính, tất cả đều là những điều kiện kết cấu có liên quan đến một sản phẩm mềm hơn. Tác động tương tự cũng được quan sát thấy ở thịt nấu chín, trong đó sự phá hủy lớn hơn đối với cấu trúc myofibrillar và tăng cường độ mềm được quan sát thấy ở thịt cừu nấu chín và sau đó được đông lạnh (Estrada-Solis và cs., 2016). Ngoài ra sự gián đoạn về mặt vật lý, độ mềm hơn cũng có thể đạt được thông qua sự phân hủy các protein sợi cơ bởi các protease nội sinh (phân giải protein) trong quá trình bảo quản thịt. Sự phân giải protein sau giết mổ đã được nhiều người coi là một trong những sự kiện quan trọng nhất quyết định độ mềm của sản phẩm cuối cùng (Kemp và cs., 2010). Aroeira (2016) cho thấy rằng thịt bò bít tết đông lạnh/rã đông được tăng cường độ mềm có liên quan đến sự phân giải protein sau giết mổ nhiều hơn.

Có một số hệ thống enzym phân giải protein tham gia vào quá trình phân giải protein sau giết mổ, bao gồm proteinase phụ thuộc canxi (calpain), cathepsin và caspase. Trong số các hệ thống này, calpain, cụ thể hơn, calpain-1 đã được công nhận về vai trò của chúng trong quá trình làm mềm sau giết mổ (Geesink và cs., 2006). Calpain-1 là protease chính chịu trách nhiệm cho sự phân hủy của các protein myofibrillar như titin, nebulin, troponin-T và desmin trong quá trình lão hóa thịt, do đó tăng cường độ mềm. Do đó, sự gia tăng phân giải protein trong thịt đông lạnh/rã đông đã được công nhận là do hoạt động của calpain-1 được cải thiện, có lẽ là thông qua việc nâng cao nồng độ canxi trong tế bào do kết quả của việc phá vỡ mạng lưới cơ chất cá tinh thể nước đá. Zhang và Ertbjerg (2018) đã báo cáo nồng độ canxi từ 400-900  $\mu\text{M}$  trong cơ lợn đã được đông lạnh và sau đó rã đông, nồng độ canxi cao hơn ngưỡng cần thiết để kích hoạt calpain-1 (2-50  $\mu\text{M}$  canxi cho một nửa hoạt động tối đa). Có sự giảm nhanh chóng hoạt động của calpastatin (chất ức chế nội sinh của calpain-1) được phân lập từ cơ thịt đông lạnh, một hiệu ứng cũng được quan sát thấy ở sườn cừu đông lạnh. Sự giảm hoạt động của calpastatin sau khi đông lạnh/rã đông có thể là một chức năng của tăng nồng độ canxi trong tế bào. Ở nồng độ canxi thấp, calpastatin liên kết và ức chế calpain-1, trong khi ở nồng độ canxi cao hơn, calpastatin bị phân giải bởi calpain-1 và các protease nội sinh khác, làm giảm tác dụng ức chế của nó đối với calpain-1. Tuy nhiên, không có bằng chứng cho rằng hoạt động của calpain-1 tăng lên sau khi đóng băng/tan băng, do đó, cần tiếp tục nghiên cứu thêm.

Trong khi calpain-1 được coi là thành phần chính góp phần làm mềm thịt trong quá trình lão hóa, các báo cáo gần đây đã gợi ý rằng cathepsin và caspase cũng có thể góp phần làm mềm thịt sau khi giết mổ (Lonergan và cs., 2010). Sự hình thành các tinh thể nước đá đã được chứng minh là có thể phá vỡ lysosome (bào quan chứa cathepsin), cho phép cathepsin được phóng thích vào chất lỏng để bắt đầu quá trình phân giải protein. Lee và cs. (2021) đã quan sát thấy hoạt động của cathepsin B cao hơn trong cơ thịt bò được đông lạnh trong 24 giờ ở  $-20^{\circ}\text{C}$  trước khi lão hóa, so với các mẫu thịt đông lạnh. Người ta cũng đã ghi nhận rằng mô cơ bị đóng băng sẽ làm gián đoạn ty thể, cho phép giải phóng cytochrome c của protein pro-apoptotic vào trong bào tương. Trong cytosol, cytochrome c bắt đầu một chuỗi các hoạt động, cuối cùng dẫn đến việc kích hoạt con đường apoptotic nội tại, một quá trình cần thiết cho việc kích hoạt hệ thống caspase. Nghiên cứu đã chỉ ra rằng sự gián đoạn sớm của các ti thể trong thịt dẫn đến caspase-3 hoạt động mạnh hơn, caspase tác động chính liên quan đến quá trình chết tế bào (Dang và cs., 2021). Có thể thấy rằng, đông lạnh thịt có thể tạo ra những thay đổi ở cấp độ vĩ mô và vi mô trong thịt, hầu hết nó cải thiện độ mềm của thịt. Tuy nhiên, thiệt hại cơ học do các tinh thể nước đá trong thịt có thể làm giảm khả năng giữ nước của thịt (Leygonie và cs., 2012). Do đó, các thuộc tính chất lượng thịt khác, chẳng hạn như WHC của nó, đã được chứng minh là bị ảnh hưởng bất lợi bởi quá trình cấp đông (Zhan và cs., 2018).

### ***Khả năng giữ nước***

Có ba dạng nước trong mô cơ: liên kết, cố định và tự do. Nước liên kết chiếm khoảng 5% tổng lượng nước của cơ và liên kết chặt chẽ với các protein trong cơ, ngăn không cho nó di chuyển đến các ngăn khác. Loại nước này có khả năng chống lại đóng băng và không dễ bị bay hơi trong quá trình đun nóng. Mặt khác, khoảng 85% nước cố định (myowater) được cố định trong tế bào cơ, trong khi 10% còn lại là nước di chuyển tự do được giữ trong không gian ngoại bào bởi lực mao mạch. Cả nước cố định và nước tự do đều dễ bị thay đổi nhiệt độ và áp suất, và có thể bị mất đi dưới dạng lọc và nhỏ giọt.

Trong những trường hợp bình thường, việc mất nước từ cơ sau giết mổ là điều không thể tránh khỏi. Điều này chủ yếu là do sự suy giảm pH của cơ gần với điểm đẳng điện của protein cơ (pH 5,1-5,2) và sự co lại của mạng lưới myofibrillar do quá trình làm lạnh gây ra (7). Xử lý sau giết mổ (tức là bảo quản lạnh/đông lạnh) thịt cũng có thể làm giảm khả năng giữ nước của thịt. Dưới tốc độ đông băng chậm, nhiều nước hơn được lấy ra khỏi không gian nội bào của tế bào cơ để tạo thành các tinh thể đông băng lớn hơn trong không gian ngoại bào, do đó, cho phép mất nhiều băng hơn. Ngoài ra, các tinh thể nước đá lớn có khả năng làm biến dạng và phá vỡ các tế bào cơ, tạo điều kiện cho nước được tiết ra nhiều hơn. Zhang và Ertbjerg (2018) đã quan sát thấy sự gia tăng mất nước trong quá trình nấu chín và chế biến thịt thăn lợn được đông lạnh ở  $-20^{\circ}\text{C}$  và sau đó được rã đông. Các phát hiện tương tự cũng được quan sát trong các nghiên cứu đánh giá WHC ở thịt bò đông lạnh/rã đông (Lagerstedt và cs., 2008), thịt cừu và thịt gà. Điều đáng chú ý là tốc độ giảm nhiệt độ sản phẩm từ  $-1$  đến  $-7^{\circ}\text{C}$  đã được chứng minh là có ảnh hưởng đến lượng nước mất đi trong quá trình rã đông, với tốc độ đông băng lớn hơn trong phạm vi này dẫn đến mất nước ít hơn.

Độ mong nước là một trong những thuộc tính chất lượng ăn uống chính bị ảnh hưởng đáng kể bởi WHC của thịt. Độ mong nước của thịt thường được cải thiện khi tăng WHC và do đó việc giảm WHC do đông lạnh ảnh hưởng bất lợi đến độ ngọt của thịt. Lagerstedt và cs. (2008) chỉ ra rằng cảm quan của thịt bò nấu chín trước đó đã được đông lạnh ít ngọt hơn đáng kể so với thịt bò nấu chín không đông lạnh. WHC bị suy giảm do đông lạnh cũng có thể tác động tiêu cực đến các đặc tính chức năng của thịt. Trong quá trình sản xuất xúc xích, WHC quyết định chất lượng sản phẩm cuối cùng, với WHC lớn hơn tương đương với độ mong nước và xúc xích săn chắc hơn (Xue và cs., 2017). Hơn nữa, WHC lớn hơn cho phép hình thành thịt xay ổn định hơn đảm bảo các đặc tính kết cấu và hình ảnh đồng nhất trong sản phẩm cuối cùng (Santhi và cs., 2017). Chất lượng nước mất đi từ thịt xay được chế biến từ thịt lợn đông lạnh/rã đông gia tăng hơn so với thịt xay từ thịt lợn không đông lạnh, cho thấy thịt xay không ổn định. Mặc dù việc sử dụng thịt đông lạnh là một phần cần thiết để kiểm soát nhiệt độ và tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình cắt và băm nhỏ trong quá trình sản xuất xúc xích, cần chú ý nhiều hơn khi sử dụng thịt đông lạnh do WHC suy giảm (Peng và cs., 2009).

### **Màu sắc**

Màu sắc bề mặt là một trong những khía cạnh thị giác quan trọng nhất của thịt và có thể ảnh hưởng mạnh mẽ đến quyết định mua hàng của người tiêu dùng. Điều này phần lớn là do người tiêu dùng liên tưởng màu sắc của thịt với sự lành mạnh, tươi ngon và chất lượng ăn uống. Màu thịt cảm quan chủ yếu liên quan đến số lượng và trạng thái oxy hóa khử của myoglobin sắc tố heme trong thịt.

Myoglobin là một protein bao gồm một chuỗi polypeptide đơn (globin) liên kết với một nhóm heme. Phần heme của phân tử được nhúng trong túi kỵ khí nước bên trong globin, và chứa một nguyên tử sắt duy nhất ở trung tâm của nó. Sắt được phối hợp với bốn nguyên tử nitơ pyrrole và nitơ imidazole của histidine còn lại của globin. Cuối cùng, vị trí kết hợp vị trí thứ sáu có sẵn trong liên kết và các phản ứng oxy hóa khử. Tùy thuộc vào bản chất của vị trí liên kết và trạng thái oxy hóa khử của sắt, myoglobin có thể tồn tại ở ba dạng khác nhau: Deoxymyoglobin chứa sắt ở dạng sắt khử ( $\text{Fe}^{2+}$ ), không có liên kết nào liên kết với vị trí liên kết thứ sáu và màu của nó có màu đỏ tía sẫm. Khi oxy diatomic chiếm vị trí liên kết thứ sáu của  $\text{Fe}^{2+}$ , màu đỏ anh đào sáng mong muốn của thịt tươi, oxymyoglobin, được hình thành. Trong khi đó, sự đổi màu (chuyển màu nâu) của thịt tươi là kết quả của sự tích tụ metmyoglobin, một quá trình bao gồm quá trình oxy hóa chứa sắt thành trạng thái sắt ( $\text{Fe}^{3+}$ ).

Khả năng giữ nước của thịt (tức là WHC) là yếu tố cơ bản trong việc xác định màu sắc của sản phẩm cuối cùng. Là một protein hòa tan trong nước, myoglobin bị mất cùng với chất lỏng tiết ra từ thịt trong giai đoạn sau khi giết mổ, làm cho sản phẩm có màu nhạt hơn. Do đó, thịt có WHC lớn hơn có thể giữ được nhiều nước hơn và có màu sẫm hơn và đỏ hơn. Một nghiên cứu đã báo cáo rằng đông lạnh làm cho thịt trở nên nhạt hơn và ít có màu đỏ (Vieira và cs., 2009). Kim và cs. (2018) đã báo cáo rằng sự gia tăng  $L^*$  và giảm giá trị  $a^*$  trong cơ thịt lợn đã rã đông được đông lạnh ở  $-20^\circ\text{C}$ . Aroeira và cs. (Aroeira và cs., 2017) đã báo cáo giá trị  $a^*$  thấp hơn ở bít tết bò được đông lạnh/rã đông và sau đó ủ trong 14 ngày so với mẫu không được cấp đông nhưng được ủ trong cùng một khoảng thời gian. Ngoài ra, một số tác giả đã báo cáo rằng đông lạnh làm thay đổi các dạng myoglobin trong thịt (Jeong và cs., 2011). Aroera và cs. (2016) thấy rằng mức metmyoglobin cao hơn 8-22% trong bít tết bò được đông lạnh ở  $-20^\circ\text{C}$  và sau đó được ủ 14 ngày so với bít tết không được cấp đông. Điều này được cho là do có nhiều axit béo không bão hòa đa trong thịt bò, giúp thúc đẩy quá trình oxy hóa myoglobin. Jeong và cs. (2011) cũng cho thấy thịt bò bít tết sau khi đông lạnh có hàm lượng oxymyoglobin thấp hơn so với bít tết không đông lạnh sau cùng thời gian ủ.

### **Hương vị**

Bảo quản thịt đông lạnh được sử dụng để giảm thiểu số lượng các phản ứng sinh hóa có thể xảy ra trong sản phẩm thịt. Tuy nhiên, ở nhiệt độ đóng băng dưới mức tối ưu, trong khoảng từ 0 đến  $-20^\circ\text{C}$ , một phần myowater vẫn không đóng băng, cho phép các phản ứng hóa học xảy ra theo thời gian. Khi nhiều tinh thể nước đá được hình thành, các thành phần (protein, carbohydrate, lipid, vitamin và khoáng chất) trong thịt sẽ tập trung trong giai đoạn nước không đông lạnh, điều này làm tăng xác suất oxy hóa lipid và protein (Leygonie và cs., 2012). Ngoài ra, sự phá vỡ cấu trúc tế bào bởi các tinh thể nước đá lớn hơn giải phóng các chất oxy hóa chẳng hạn như heme và sắt không heme và chất béo màng làm tăng tốc các phản ứng oxy hóa. Về vấn đề này, các nghiên cứu đã chỉ ra sự gia tăng quá trình oxy hóa trong quá trình đông lạnh/rã đông thịt, và sau đó là sự phát triển của những thay đổi về hương vị, màu sắc và kết cấu không mong muốn (Li và cs., 2020).

Số chu kỳ đông lạnh/rã đông là một yếu tố quan trọng khác ảnh hưởng đến mức độ oxy hóa protein và lipid (Ali và cs., 2015). Rahman và cs. (2015) quan sát thấy sự gia tăng liên tục các sản phẩm oxy hóa lipid trong cơ thịt bò trải qua ba chu kỳ đông lạnh/rã đông. Việc tăng số chu kỳ đông lạnh/rã đông gây ra nhiều gián đoạn hơn cho các thành phần tế bào. Do đó, điều này làm tăng khả năng giải phóng nhiều oxy hóa hơn và tham gia vào các phản ứng oxy hóa lipid và protein. Sự gia tăng sắt không phải heme (một phức hợp  $\text{Fe}^{2+}$  gắn với vòng porphyrin - là thành phần của hemoglobin) trong cơ cá sau chu kỳ đông lạnh/rã đông tiếp theo. Để chống lại sự giảm chất lượng do quá trình oxy hóa, bảo quản thịt ở nhiệt độ  $-40^\circ\text{C}$  hoặc thấp hơn đã được đề xuất để hạn chế sự xuất hiện các phản ứng oxy. Tuy nhiên, đối với người tiêu dùng phổ thông, phổ biến hơn là các tủ đông thương mại chỉ hoạt động ở gần  $-20^\circ\text{C}$ . Trong trường hợp này, khuyến nghị giảm thiểu số chu kỳ đông lạnh/rã đông).

Trong một những mối quan tâm chính liên quan đến quá trình oxy hóa lipid và protein là sự phát triển của hương vị ôi từ các hợp chất dễ bay hơi được tạo ra bởi phản ứng oxy hóa. Tuy nhiên, một số nghiên cứu dựa trên cảm quan chỉ ra rằng thịt đông lạnh không tạo ra một lượng "ngoại vị" có thể phát hiện được để người tiêu dùng cảm nhận được. Đông lạnh ba loại cơ khác nhau (*longissimus thoracis*, *longissimus lumborum* và *gluteus mdeius*) đông lạnh ở  $-28^\circ\text{C}$  so sánh với phần không đông lạnh bằng phân tích cảm quan. Kết quả đã không phát hiện ra bất kỳ sự khác biệt nào về mùi vị giữa các mẫu đông lạnh và tươi.



### **Các phương pháp giảm thiểu tác động của đông lạnh và rã đông đến các sản phẩm thịt**

Trong những năm gần đây, các phương pháp đông lạnh và rã đông sản phẩm thịt mới đã được nghiên cứu để đạt được chất lượng tổng thể tốt hơn. Cấp đông áp suất cao là phương pháp tạo ra hiệu ứng siêu lạnh cao cho phép hình thành các tinh thể nước đã đồng nhất bên trong sản phẩm, ở áp suất cao khoảng 200-400 MPa, nước vẫn ở trạng thái lỏng ở nhiệt độ dưới 0°C, và sự hình thành băng nhanh chóng xảy ra khi áp suất giảm ngay lập tức. Hơn nữa, các tinh thể nước đá loại IV được hình thành trong quá trình đóng băng áp suất cao. Các tinh thể này nhỏ hơn và dẹt hơn nước, làm giảm khả năng trương nở (tăng thể tích) trong quá trình đông lạnh, do đó làm giảm tổn thương cơ học đối với các mô xung quanh. Chất lượng thịt bò (Witte và cs., 2020) được cấp đông áp suất cao được cải thiện tương tự so với cấp đông thông thường. Mặt khác, tinh thể nước đá loại I được hình thành khi nước bị đóng băng ở áp suất khí quyển. So với tinh thể băng loại IV, tinh thể loại I có thể tích lớn hơn 9-13% ở nhiệt độ đóng băng từ 0 đến -20°C. Do đó, đông lạnh áp suất cao là một phương pháp có thể sử dụng để giảm thiểu những tác hại không mong muốn do quá trình đóng băng, cụ thể là từ các tinh thể nước đá loại I.

Một công nghệ đóng băng mới và tiềm năng khác đã được phát hiện trong những năm qua là đóng băng trường điện tĩnh (SEF). Dựa trên thực tế là các phân tử nước có cực, SEF định hướng lại các phân tử nước theo hướng của điện trường, dẫn đến giảm entropi và năng lượng tự do của hệ thống (Fallah-Joshaqani và cs., 2019). Kết hợp với việc đóng băng, việc áp dụng SEF làm giảm nhẹ sự hình thành các tinh thể băng lớn, tăng cường tạo mầm băng và hạ nhiệt độ siêu lạnh của hệ thống (Orlowska và cs., 2009). Xanthakis và cs. (2013) quan sát thấy sự giảm 56% kích thước tinh thể đã của thăn lợn chịu SEF với cường độ 12 kV so với các mẫu không được xử lý. Hơn nữa, phân tích mô học của các mẫu thịt đã qua xử lý SEF này chỉ ra thiệt hại cơ học tối thiểu do các tinh thể nước đá gây ra. Trong nghiên cứu khác đã kiểm tra ảnh hưởng của việc đông lạnh có hoặc không có SEF đến chất lượng thịt cừu, sự giảm thất thoát nhỏ giọt và không ảnh hưởng đến màu sắc đã được quan sát thấy trong các mẫu được xử lý SEF (Dalvi-Isfahan và cs., 2016). Tuy nhiên, việc áp dụng thành công công nghệ này phụ thuộc vào mức độ của SEF được áp dụng, bản thân nó bị ảnh hưởng bởi đặc tính vốn có của hệ thống thực phẩm được đánh giá (Fallah-Joshaqani và cs., 2019). Do đó, cần tiếp tục nghiên cứu thêm để đánh giá thông tin chính xác của công nghệ này.

Việc sử dụng công nghệ siêu âm gần đây đã được nghiên cứu trong lĩnh vực đông lạnh thực phẩm, và đã cho thấy những kết quả đầy hứa hẹn trong việc tăng cường độ ổn định của các sản phẩm thực phẩm đông lạnh (Patist và Bates, 2008). Trong số các công nghệ siêu âm hiện nay, siêu âm điện đã được sử dụng để cải thiện độ mềm và màu sắc của thịt tươi, với sự quan tâm ngày càng tăng trong lĩnh vực thực phẩm đông lạnh. Siêu âm công suất là công nghệ sử dụng tần số thấp và công suất cao để tạo ra sóng siêu âm trong hệ thống nhất định. Trong môi trường lỏng, siêu âm công suất có thể tạo ra các sóng vòng tròn sủi tăm dao động xuyên qua chất lỏng, tạo ra các dòng vi mô trên đường đi, tạo ra các dòng xoáy mạnh có thể làm biến dạng vật liệu xung quanh chúng (Feng và cs., 2008). Hơn nữa, các sóng này cuối cùng sẽ suy thoái và tạo ra lực và áp suất cực lớn tại các khu vực tiếp xúc. Áp dụng sóng siêu âm trong quá trình cấp đông thịt đã được chứng minh là làm tăng tốc độ làm lạnh và hạn chế sự phát triển của tinh thể. Zhang và cs. (2018) quan sát thấy sự giảm kích thước của các tinh thể nước đá và sự mất mát nhỏ giọt và rã đông của thịt thăn lợn được làm đông lạnh bằng sóng siêu âm so với miếng thịt được làm đông lạnh bằng không khí. Đông lạnh có sự hỗ trợ của sóng siêu âm thúc đẩy sự hình thành mạng lưới protein bên trong thịt, do đó làm giảm tính di động của nước cố định và tự do trong quá trình đông lạnh và mất nước sau đó trong quá trình rã đông.

Công nghệ siêu âm đã được thực hiện để hỗ trợ rã đông các mẫu thịt, thay vì đông lạnh. Việc rã đông thịt có sự hỗ trợ của sóng siêu âm đã chứng minh là làm giảm thời gian rã đông và tổn thương cấu trúc sợi cơ do đông lạnh gây ra (Guo và cs., 2021).

### KẾT LUẬN

Đông lạnh thịt đã được thực hiện trong nhiều năm qua như một phương pháp bảo quản. Quá trình đông lạnh ảnh hưởng đến các thuộc tính chất lượng của thịt, bao gồm độ mềm, màu sắc, mất nước sau khi nấu và hương vị. Nói chung, đông lạnh ảnh hưởng tích cực đến độ mềm của thịt, nhưng giảm mất nước sau khi nấu và độ ổn định màu sắc, và tác động tiêu cực đến hương vị. Mức độ của mỗi tác động này được quyết định bởi kích thước và sự phân bố của tinh thể nước đá được hình thành trong thịt trong quá trình đông lạnh. Giảm thiểu tác động tiêu cực của việc đông lạnh đến chất lượng thịt là một thách thức, vì kích thước và sự phân bố của tinh thể nước đá bị chi phối bởi nhiều yếu tố như tốc độ cấp đông, nhiệt độ và thời gian bảo quản. Do đó, các nhà khoa học đã và đang nghiên cứu các cách kết hợp khác nhau giữa nhiệt độ cấp đông, tốc độ và thời gian bảo quản nhằm cố gắng tối ưu hóa phương pháp cấp đông để bảo quản chất lượng thịt tốt hơn. Hơn nữa, các công nghệ mới, chẳng hạn như đông lạnh áp suất cao, tĩnh điện và siêu âm hỗ trợ đã được khai thác trong những năm gần đây như những phương pháp tiềm năng để hạn chế tác động tiêu cực của việc đông lạnh đối với thịt. Tuy nhiên, hầu hết các ứng dụng này chưa được thương mại hóa để sử dụng trong ngành vì cần đảm bảo tối ưu hóa hơn.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Ali, S., Zhang, W., Rajput, N., Khan, M.A., Li, C.B. and Zhou, G.H. 2015. Effect of multiple freeze-thaw cycles on the quality of chicken breast meat. *Food Chem.* 173, pp. 808–814.
- Aroeira, C.N., de Almeida Torres Filho, R., Fontes, P.R., Ramos, A.d.L.S., de Miranda Gomide, L.A., Ladeira, M.M. and Ramos, E.M. 2017. Effect of freezing prior to aging on myoglobin redox forms and CIE color of beef from Nellore and Aberdeen Angus cattle. *Meat Sci.* 125, pp. 16–21.
- Aroeira, C.N., Torres Filho, R.A., Fontes, P.R., Gomide, L.A.M., Ramos, A.L., Ladeira, M.M. and Ramos, E.M. 2016. Freezing, thawing and aging effects on beef tenderness from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. *Meat Sci.* 116, pp. 118–125.
- Dalvi-Isfahan, M., Hamdami, N.; and Le-Bail, A. 2016. Effect of freezing under electrostatic field on the quality of lamb meat. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 37, pp. 68–73.
- Dang, D.S., Stafford, C.D., Taylor, M.J., Buhler, J.F., Thornton, K.J. and Matarneh, S.K. 2021. Ultrasonication of beef improves calpain-1 autolysis and caspase-3 activity by elevating cytosolic calcium and inducing mitochondrial dysfunction. *Meat Sci.* 108646.
- Dave, D. and Ghaly, A.E. 2011. Meat spoilage mechanisms and preservation techniques: A critical review. *Am. J. Agric. Biol. Sci.* 6, pp. 486–510.
- Eastridge, J.S. and Bowker, B.C. 2011. Effect of rapid thawing on the meat quality attributes of USDA select beef strip loin steaks. *J. Food Sci.* 76, S156–S162.
- Estrada-Solis, J., Figueroa-Rodriguez, K.A., Figueroa-Sandoval, B., Hernandez-Rosas, F. and Hernandez-Cazares, A.S. 2016. Microstructure and physical changes in the Mexican cooked lamb meat barbacoa made with chilled and frozen meat. *Meat Sci.* 118, pp. 122–128.
- Fallah-Joshaqani, S., Hamdami, N., Keshavarzi, E., Keramat, J., Dalvi-Isfahan, M. 2019. Evaluation of the static electric field effects on freezing parameters of some food systems. *Int. J. Refrig.* 99, pp. 30–36.
- Feng, H., Yang, W. and Hielscher, T. 2008. Power ultrasound. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 14, pp. 433–436.
- Fernandes, R.d.P.P., de Alvarenga Freire, M.T., da Costa Carrer, C. and Trindade, M.A. 2013. Evaluation of physicochemical, microbiological and sensory stability of frozen stored vacuum-packed lamb meat. *J.*

- Integr. Agric. 12, pp. 1946–1952.
- Geesink, G., Kuchay, S., Chishti, A. and Koochmaraie, M. 2006.  $\mu$ -Calpain is essential for postmortem proteolysis of muscle proteins. *J. Anim. Sci.* 84, pp. 2834–2840.
- Grasso, S., Brunton, N., Lyng, J., Lalor, F. and Monahan, F. 2014. Healthy processed meat products—Regulatory, reformulation and consumer challenges. *Trends Food Sci. Technol.* 39, pp. 4–17.
- Guo, Z., Ge, X., Yang, L., Ma, G., Ma, J., Yu, Q.L. and Han, L. 2021. Ultrasound-assisted thawing of frozen white yak meat: Effects on thawing rate, meat quality, nutrients, and microstructure. *Ultrason. Sonochem.* 70, 105345.
- Hammad, H., Ma, M., Damaka, A., Elkhedir, A. and Jin, G. 2019. Effect of freeze and re-freeze on chemical composition of beef and poultry meat at storage period 4.5 months (SP4. 5). *J. Food Process. Technol.* 10, 2.
- Jeong, J.Y., Kim, G.D., Yang, H.S. and Joo, S.T. 2011. Effect of freeze–thaw cycles on physicochemical properties and color stability of beef semimembranosus muscle. *Food Res. Int.* 44, pp. 3222–3228.
- Kemp, C.M., Sensky, P.L., Bardsley, R.G., Buttery, P.J. and Parr, T. 2010. Tenderness—An enzymatic view. *Meat Sci.* 84, pp. 248–256.
- Kiani, H. and Sun, D.W. 2011. Water crystallization and its importance to freezing of foods: A review. *Trends Food Sci. Technol.* 22, pp. 407–426.
- Kim, H.W., Kim, J.H., Seo, J.K., Setyabrata, D. and Kim, Y.H.B. 2018. Effects of aging/freezing sequence and freezing rate on meat quality and oxidative stability of pork loins. *Meat Sci.* 139, pp. 162–170.
- Kim, Y.H.B., Liesse, C., Kemp, R. and Balan, P. 2015. Evaluation of combined effects of ageing period and freezing rate on quality attributes of beef loins. *Meat Sci.* 110, pp. 40–45.
- Lagerstedt, Å., Enfält, L., Johansson, L. and Lundström, K. 2008. Effect of freezing on sensory quality, shear force and water loss in beef *M. longissimus dorsi*. *Meat Sci.* 80, pp. 457–461.
- Lee, S., Jo, K., Jeong, H.G., Yong, H.I., Choi, Y.S., Kim, D. and Jung, S. 2021. Freezing-then-aging treatment improved the protein digestibility of beef in an in vitro infant digestion model. *Food Chem.* 350, 129224.
- Leygonie, C., Britz, T.J. and Hoffman, L.C. 2012. Impact of freezing and thawing on the quality of meat. *Meat Sci.* 91, pp. 93–98.
- Li, F., Zhong, Q., Kong, B., Wang, B., Pan, N. and Xia, X. 2020. Deterioration in quality of quick-frozen pork patties induced by changes in protein structure and lipid and protein oxidation during frozen storage. *Food Res. Int.* 133, 109142.
- Lonergan, E.H., Zhang, W. and Lonergan, S.M. 2010. Biochemistry of postmortem muscle—Lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Sci.* 86, pp. 184–195.
- Matarneh, S.K., Silva, S.L. and Gerrard, D.E. 2021. New insights in muscle biology that alter meat quality. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 9, pp. 355–377.
- Orlowska, M., Havet, M. and Le-Bail, A. 2009. Controlled ice nucleation under high voltage DC electrostatic field conditions. *Food Res. Int.* 42, pp. 879–884.
- Patist, A. and Bates, D. 2008. Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 9, pp. 147–154.
- Peng, W., Xu, X.L. and Zhou, G.H. 2009. Effects of meat and phosphate level on water-holding capacity and texture of emulsion-type sausage during storage. *Agric. Sci. China* 8, pp. 1475–1481.
- Qi, J., Li, C., Chen, Y., Gao, F., Xu, X. and Zhou, G. 2012. Changes in meat quality of ovine longissimus dorsi muscle in response to repeated freeze and thaw. *Meat Sci.* 92, pp. 619–626.
- Rahman, M., Hossain, M., Rahman, S., Amin, M. and Oh, D.H. 2015. Evaluation of physicochemical deterioration and lipid oxidation of beef muscle affected by freeze-thaw cycles. *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.* 35, 772.

- Rahman, M.S. and Velez-Ruiz, J.F. 2007. Food Preservation by Freezing. In Handbook of Food Preservation; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, pp. 653–684.
- Santhi, D., Kalaikannan, A. and Sureshkumar, S. 2017. Factors influencing meat emulsion properties and product texture: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 57, pp. 2021–2027.
- Singh, R.P. and Heldman, D.R. 2014. Introduction to Food Engineering, 5th ed.; Gulf Professional Publishing: Houston, TX, USA, 2014.
- Vieira, C., Diaz, M., Martínez, B. and García-Cachán, M. 2009. Effect of frozen storage conditions (temperature and length of storage) on microbiological and sensory quality of rustic crossbred beef at different states of ageing. *Meat Sci.* 83, pp. 398–404.
- Vignolo, G., Fontana, C. and Fadda, S. 2010. Semidry and Dry Fermented Sausages. In Handbook of Meat Processing; Toldra, F., Ed.; Wiley: London, UK, pp. 379–398.
- Wang, Y., Liang, H., Xu, R., Lu, B., Song, X. and Liu, B. 2020. Effects of temperature fluctuations on the meat quality and muscle microstructure of frozen beef. *Int. J. Refrig.* 116, pp. 1–8.
- Witte, F., Smetana, S., Heinz, V. and Terjung, N. 2020. High-pressure processing of usually discarded dry aged beef trimmings for subsequent processing. *Meat Sci.* 170, 108241.
- Xanthakis, E., Havet, M., Chevallier, S., Abadie, J. and Le-Bail, A. 2013. Effect of static electric field on ice crystal size reduction during freezing of pork meat. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 20, pp. 115–120.
- Xue, S., Wang, H., Yang, H., Yu, X., Bai, Y., Tendu, A.A., Xu, X., Ma, H. and Zhou, G. 2017. Effects of high-pressure treatments on water characteristics and juiciness of rabbit meat sausages: Role of microstructure and chemical interactions. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 41, pp. 150–159.
- Zhan, X., Sun, D.W., Zhu, Z. And Wang, Q.J. 2018. Improving the quality and safety of frozen muscle foods by emerging freezing technologies: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 58, pp. 2925–2938.
- Zhang, M., Haili, N., Chen, Q., Xia, X. and Kong, B. 2018. Influence of ultrasound-assisted immersion freezing on the freezing rate and quality of porcine longissimus muscles. *Meat Sci.* 136, pp. 1–8.
- Zhang, Y. and Ertbjerg, P. ,2018,. Effects of frozen-then-chilled storage on proteolytic enzyme activity and water-holding capacity of pork loin. *Meat Sci.* 145, pp. 375–382.

## ABSTRACT

### Using frozen method to storage beef meat

Preservation of meat through freezing entails the use of low temperatures to extend a product's shelf-life, mainly by reducing the rate of microbial spoilage and deterioration reactions. Characteristics of meat that are important to be preserve include tenderness, water holding capacity, color, and flavor. In general, freezing improves meat tenderness, but negatively impacts other quality attributes. The extent to which these attributes are affected depends on the ice crystalline size and distribution, which itself is governed by freezing rate and storage temperature and duration. Although novel technology has made it possible to mitigate the negative effects of freezing, the complex nature of muscle tissue makes it difficult to accurately and consistently predict outcome of meat quality following freezing. This review provides an overview of the current understanding of energy and heat transfer during freezing and its effect on meat quality. Furthermore, the review provides an overview of the current novel technologies utilized to improve the freezing process.

**Keywords:** *preservation; crystallization; freezing/thawing; meat quality; freezing technologies*

Ngày nhận bài: 03/12/2021

Ngày chấp nhận đăng: 19/01/2022