



DOI:10.22144/ctujos.2025.045

ĐẶC ĐIỂM LẠNH ĐÔNG VÀ SỰ THAY ĐỔI CHẤT LƯỢNG SAU TAN GIÁ CỦA QUẢ NHÃN IDOR (*Euphoria longan* Lam.)

Tô Nguyễn Phước Mai¹, Trần Thị Cẩm Tiên¹, Huỳnh Phú Lợi¹, Trần Thanh Trúc^{1,2} và Nguyễn Văn Mười^{1*}

¹*Viện Công nghệ Sinh học và Thực phẩm, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam*

²*Khoa Sau đại học, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam*

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): nvmuoi@ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 09/12/2024

Sửa bài (Revised): 14/01/2025

Duyệt đăng (Accepted): 14/03/2025

Title: Freezing characteristic and quality changes after thawing of Idor (*Euphoria longan* Lam.) longan

Author(s): To Nguyen Phuoc Mai¹, Tran Thi Cam Tien¹, Huynh Phu Loi¹, Tran Thanh Truc^{1,2} and Nguyen Van Muoi^{1*}

Affiliation(s): ¹Institute of Food and Biotechnology, Can Tho University, Viet Nam; ²Graduate School, Can Tho University, Viet Nam

TÓM TẮT

Lạnh đông là quá trình làm kết tinh nước trong thực phẩm, được ứng dụng chủ yếu để bảo quản, đồng thời hỗ trợ các kỹ thuật khác như cô đặc lạnh và sấy thăng hoa. Trong nghiên cứu này, sự thay đổi nhiệt độ tâm của nhãn Idor (*Euphoria longan* Lam.) nguyên quả theo thời gian được theo dõi ở các mức nhiệt độ lạnh đông giảm dần từ -40°C, -50°C, -60°C đến -70°C. Kết quả ghi nhận cho thấy, nhiệt độ đông băng và nhiệt độ eutectic của nhãn Idor nguyên quả lần lượt là -2,43°C và -29,13°C. Đánh giá chất lượng sau tan giá cho thấy, lạnh đông ở -60°C và -70°C giúp sản phẩm đạt chất lượng tốt hơn, thể hiện qua độ ẩm (79,06-79,17%) và hàm lượng vitamin C cao hơn (32,45 - 32,74 mg%), đồng thời giảm thiểu tỉ lệ rỉ dịch (1,01-1,16%) và chỉ số hóa nâu BI (13,02-13,18). Tuy nhiên, nhãn đông lạnh ở hai mức nhiệt độ này vẫn có tỉ lệ nứt vỏ cao (82,85-87,54%). Do đó, việc áp dụng thêm các biện pháp kỹ thuật để hạn chế nứt vỏ quả nhãn khi lạnh đông là cần thiết nhằm duy trì chất lượng của quả trong quá trình tồn trữ.

Từ khóa: Lạnh đông, nhãn Idor (*Euphoria longan* Lam.), nhiệt độ đông băng, nhiệt độ eutectic, tan giá

ABSTRACT

Freezing is the process of crystallizing water in food, primarily used for preservation and also to support other techniques such as cold concentration or freeze-drying. In this study, the changes in the core temperature of whole Idor longan (*Euphoria longan* Lam.) were monitored over time at different freezing temperatures, decreasing from -40°C, -50°C, -60°C to -70°C. The recorded results indicated that the freezing and eutectic temperatures of whole Idor longan were -2.43°C and -29.13°C, respectively. Post-thawing quality monitoring showed that freezing at -60°C and -70°C produced thawed products of better quality, with higher humidity (79.06–79.17%) and vitamin C content (32.45 – 32.74 mg%), as well as lower drip loss (1.01–1.16%) and browning index (BI) (13.02–13.18). However, the percentage of pericarp cracking remained high (82.85–87.54%) at these freezing temperatures. Therefore, additional techniques should be applied to reduce pericarp cracking in longan during freezing to maintain fruit quality during storage.

Keywords: Idor longan (*Euphoria longan* Lam.), eutectic point, freezing point, freezing, thawing

1. GIỚI THIỆU

Nhãn (*Euphoria longan* Lam.; Họ: Sapindaceae) là cây ăn quả cận nhiệt đới được trồng tập trung nhiều ở khu vực Châu Á - Thái Bình Dương (Huang, 1995). Ở Việt Nam, nhãn được trồng chủ yếu ở một số tỉnh miền Bắc như Hưng Yên, Sơn La, ... và các tỉnh miền Tây Nam Bộ như Vĩnh Long, Tiền Giang, Sóc Trăng, Bạc Liêu và Bến Tre. Nhãn cũng là loại cây ăn quả quan trọng thứ 5 của Việt Nam, chỉ đứng sau chuối, cam quýt, bưởi, xoài, với sản lượng năm đạt 660 nghìn tấn (General Statistics Office, 2024).

Cũng giống như nhiều loại trái cây nhiệt đới khác, đặc điểm dễ hư hỏng của quả nhãn trong quá trình bảo quản cũng là một vấn đề cần được quan tâm. Khi cắt quả rời khỏi cành, quả nhãn lão hóa nhanh và dẫn đến hóa nâu vỏ quả chỉ sau 3 – 4 ngày bảo quản (Prapaipong & Rakariyatham, 1990). Hiện tượng hóa nâu của vỏ quả cũng được xác định là dấu hiệu hư hỏng đầu tiên, làm giảm giá trị cảm quan và giá trị kinh tế quả nhãn, có thể đi kèm hoặc không đi kèm với hư hỏng thịt quả. Nguyên nhân chủ yếu của hiện tượng hóa nâu đến từ sự oxy hóa của thành phần polyphenol hiện diện với hàm lượng cao trên bề mặt vỏ quả, là bộ phận tiếp xúc trực tiếp với không khí và tác nhân bên ngoài (Prapaipong & Rakariyatham, 1990; Xu et al., 1999).

Lạnh đông là quá trình kết tinh của nước trong thực phẩm, làm cho một phần nước trong thực phẩm từ trạng thái lỏng sang trạng thái rắn. Do đó, khi ở trạng thái lạnh đông, nồng độ chất khô hòa tan trong phần nước không đóng băng tăng lên, làm giảm hoạt độ nước, nhờ đó ngăn cản được quá trình hư hỏng của thực phẩm (Hui et al., 2004; Sutariya & Sunkesula, 2021). Vì vậy, lạnh đông là một trong những phương pháp hiệu quả để bảo quản trái cây, giúp giữ nguyên trạng thái ban đầu và giá trị dinh dưỡng của nguyên liệu (Chauhan et al., 2009). Tuy nhiên, hàm lượng nước cao của trái cây luôn là vấn đề đáng lo ngại nhất trong quá trình lạnh đông. Sự hình thành các tinh thể nước đá tác động trực tiếp đến cấu trúc tế bào thực vật và chất lượng sản phẩm (Sirijariyawat & Charoenrein, 2012). Những thay đổi về cấu trúc, độ pH, tổng hàm lượng chất rắn hòa tan (total soluble solids - TSS), độ acid (titratable acidity - TA) thường quan sát được trong trái cây sau khi trữ đông (Chauhan et al., 2009; Sirijariyawat & Charoenrein, 2012).

Trong quá trình lạnh đông, tốc độ lạnh đông là yếu tố chính được quan tâm, ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng thực phẩm lạnh đông. Lạnh đông với tốc độ hạ nhiệt độ thấp (lạnh đông chậm) dẫn đến hình

thành các tinh thể đá ngoại bào. Hàm lượng chất khô hòa tan cao ở vùng ngoại bào sau đó tạo ra động lực thẩm thấu, làm nước ở trong tế bào di chuyển ra bên ngoài. Các phân tử nước tiếp tục kết tinh trên các tinh thể đá đã hình thành ở vùng ngoại bào, làm tăng kích thước tinh thể này. Sự phát triển kích thước tinh thể đá tạo ra lực đẩy, xé rách màng tế bào, gây ra các tổn thương vật lý trên nguyên liệu ở mức độ vi mô (Nguyen & Tran, 2016). Ngược lại, quá trình lạnh đông với tốc độ hạ nhiệt độ cao (lạnh đông nhanh) hỗ trợ hình thành tinh thể đá đồng đều ở vùng nội bào và ngoại bào. Khi đó, các tinh thể đá tạo thành với kích thước nhỏ hơn nhưng nhiều hơn, đồng thời phân bố đồng đều trong cấu trúc tế bào. Lạnh đông nhanh do đó làm giảm mức độ tổn thương của tế bào, hỗ trợ duy trì chất lượng thực phẩm (Nguyen & Tran, 2016).

Ngoài mục đích bảo quản, lạnh đông còn có thể được sử dụng để hỗ trợ cho các kỹ thuật chế biến khác như cô đặc lạnh hoặc sấy thăng hoa. Xác định được các thông số của quá trình lạnh đông là điều kiện cần để kiểm soát công đoạn này. Ví dụ như trong kỹ thuật cô đặc lạnh, quá trình lạnh đông cần được thực hiện để chuyển pha nước tự do về trạng thái rắn, hỗ trợ tách phần chất lỏng chứa hàm lượng chất khô hòa tan cao (60-70°Brix). Do đó, cần thực hiện quá trình lạnh đông chậm với nhiệt độ môi trường thấp hơn nhưng không chênh lệch lớn với nhiệt độ đóng băng của nước trong nguyên liệu, nhằm tạo ra các tinh thể đá có kích thước lớn và dễ phân tách ra khỏi phần dung dịch (Berk, 2016). Ở một ví dụ khác, đối với quá trình sấy thăng hoa, nhiệt độ đóng băng và nhiệt độ eutectic (nhiệt độ kết tinh của vật chất hòa tan) cũng là hai thông số cần thiết trong kiểm soát chất lượng của sản phẩm. Điều chỉnh nhiệt độ sấy không phù hợp với hai thông số này là nguyên nhân chính dẫn đến hiện tượng “xẹp” cấu trúc, làm giảm giá trị cảm quan của sản phẩm tạo thành (Tang & Pikal, 2004; Li et al., 2022).

Trong phạm vi nghiên cứu, đặc điểm của quá trình lạnh đông nhãn Idor nguyên quả được xác định. Trong đó, tốc độ lạnh đông quả nhãn là nhân tố được quan tâm, điều chỉnh bằng cách thay đổi nhiệt độ môi trường lạnh đông (Chassagne-Berces et al., 2009), sử dụng thiết bị đông tiếp xúc gián tiếp. Đồng thời, đánh giá chất lượng sản phẩm sau tan giá cũng được thực hiện nhằm mục đích thăm dò tác động của quá trình lạnh đông đến chất lượng sản phẩm. Kết quả của nghiên cứu là tiền đề cho phép lựa chọn chế độ lạnh đông phù hợp để bảo quản quả nhãn hoặc tiếp tục áp dụng vào các kỹ thuật chế biến tiên tiến mà công đoạn lạnh đông đóng vai trò quan trọng; chẳng hạn như trong quá trình cô đặc lạnh hoặc sấy thăng hoa.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Quả nhãn Idor trong nghiên cứu được mua ở xã Tam Hiệp, huyện Bình Đại, tỉnh Bến Tre. Quả nhãn thu hoạch đạt độ chín thuận thực, vào khoảng 126 đến 133 ngày tính từ lúc đậu trái và thay đổi tùy theo mùa vụ thu hoạch (Nguyen et al., 2017). Tại thời điểm này, quả nhãn có mùi thơm đặc trưng; vỏ quả không xù xì, mỏng và nhẵn, đồng thời có màu vàng nhạt; không nhô cao phần thịt ở hai bên cuống quả.

Nhãn được thu hoạch vào buổi chiều, thu hoạch nhãn theo chùm, bao gồm cả cuống và lá. Các chùm nhãn được lột lá nhãn để giảm xóc, sau đó cho vào trong các túi nilon có đục lỗ (với diện tích lỗ bằng 2% so với diện tích bề mặt bao bì) và vận chuyển đến phòng thí nghiệm trong ngày. Tại phòng thí nghiệm, từng quả nhãn được cắt riêng bằng kéo, chú ý giữ lại phần cuống quả với chiều dài khoảng 1,5 mm. Các quả nhãn sau đó được lựa chọn theo các tiêu chí ghi nhận trong TCVN 9768:2013. Cụ thể, quả nhãn phải nguyên vẹn, lành lặn, sạch, không bị sinh vật hại, không bị ẩm bắt thường ở ngoài vỏ, không có bất kỳ mùi và/hoặc vị lạ, hình thức quả tươi, không có các vết thâm rõ rệt (Ministry of Science and Technology, 2013). Quả nhãn được lạnh đông phải có chiều cao > 2,3 cm (tương ứng khối lượng > 8,81 g/quả, hoặc < 113 quả cho mỗi 1 kg). Quả nhãn sau đó được rửa sạch và để ráo tự nhiên trước khi tiến hành thí nghiệm.

2.2. Nội dung nghiên cứu

Để xác định đặc điểm của quá trình lạnh đông quả nhãn, quá trình lạnh đông được thực hiện trong tủ đông sâu (PHC, model MDF-U74V-PB, Nhật Bản) với nhiệt độ môi trường thay đổi từ -40, -50, -60 đến -70°C. Nhãn được trải thành 01 lớp trên khay inox trước khi đưa vào thiết bị lạnh đông. Khay inox sử dụng trong nghiên cứu có kích thước 38x58cm, tương ứng chứa khoảng 1,5 kg (khoảng 140 quả nhãn) cho mỗi khay. Nhiệt độ trung bình của 03 quả nhãn cho mỗi nhiệt độ lạnh đông trong mỗi lần thí nghiệm được ghi nhận cho đến khi nhiệt độ tâm của quả đạt giá trị lớn hơn 5°C so với nhiệt độ môi trường hoặc đến giới hạn tối thiểu của đầu dò tại -50°C (sử dụng đầu dò Type-K). Thí nghiệm được lặp lại 05 lần.

Sau khi đo đạc được các thông số của quá trình lạnh đông, việc lạnh đông thực tế được thực hiện ở các chế độ tương tự, tuy nhiên chỉ lạnh đông đến nhiệt độ tâm quả nhãn đạt -18°C, theo dõi thông qua thời gian lạnh đông. Sau khi lạnh đông, quả nhãn được bao gói trong bao bì LDPE, 1,5 kg/bao bì, hàn

kín miệng túi và để bảo ôn trong tủ đông (Sanaky, VH-5699HY4K, Việt Nam) với nhiệt độ cài đặt -18 đến -20°C. Giữ ổn định mẫu trong 15 ngày. Sau trữ đông, thực hiện tan giá dưới vòi nước chảy cho đến khi nhiệt độ mẫu cân bằng với nhiệt độ môi trường. Việc phân tích chỉ tiêu và so sánh với mẫu đối chứng (mẫu nhãn tươi không cấp đông) được thực hiện để kết luận về chất lượng sản phẩm.

2.3. Chỉ tiêu và phương pháp phân tích

Nhiệt độ đóng băng và nhiệt độ eutectic được xác định bằng các “điểm gấp” thông qua theo dõi đồ thị nhiệt độ tâm của quả nhãn thay đổi trong quá trình lạnh đông, theo giãn đồ Fellows (2002).

Khối lượng phân tử trung bình của chất tan và tỉ lệ nước đóng băng được xác định bằng cách tính toán dựa trên phương trình tính độ hạ băng điểm cho dung dịch lý tưởng theo Heldman & Singh (1981):

$$\frac{\lambda}{R_g} \left(\frac{1}{T_{A0}} - \frac{1}{T_A} \right) = \ln X_a \quad (1)$$

Với: $\lambda = 6003 \text{ J/mol}$; $R_g = 8,314 \text{ J/mol.K}$; $T_{A0} = 273\text{K}$; T_A : nhiệt độ đóng băng của nước (K);

X_a : phần mol của nước trong thực phẩm, được tính theo công thức:

$$X_a = \frac{m_A/M_A}{m_A/M_A + m_S/M_S} \quad (2)$$

Với: m_A và m_S lần lượt là khối lượng của nước và chất tan trong thực phẩm; M_A và M_S lần lượt là khối lượng phân tử của nước và của chất tan trong thực phẩm.

Tốc độ lạnh đông (°C/phút): được tính dựa trên tốc độ hạ nhiệt độ từ nhiệt độ ban đầu (30°C) đến -18°C trên thời gian theo Chassagne-Berces et al. (2009).

Tỉ lệ rỉ dịch được đánh giá theo phương pháp mô tả bởi Lowithun & Charoenrein (2009). Mẫu khi còn lạnh đông được bao gói trong giấy thấm nước, sau đó cho vào trong túi zipper, bao bì phức hợp 2 lớp (PET/PE) để hạn chế sự bay hơi nước. Khối lượng của giấy thấm được theo dõi trong suốt quá trình tan giá cho đến khi đạt giá trị cân bằng. Tỉ lệ rỉ dịch được tính dựa trên độ tăng khối lượng của giấy thấm trên khối lượng ban đầu của mẫu.

Tỉ lệ nứt vỏ: Tính toán dựa trên tỉ lệ phần trăm của số trái có hiện tượng nứt vỏ trên tổng số trái theo dõi. Do vỏ quả có màu vàng đặc trưng, hiện tượng nứt vỏ có thể dễ dàng được nhận diện bằng mắt thường thông qua quan sát các khuyết tật dạng vết nứt, màu trắng ngà hoặc nâu đen, xuất hiện trên bề mặt vỏ quả sau tan giá.

Chỉ số hóa nâu BI được sử dụng để theo dõi màu sắc của thịt quả nhãn theo đề nghị của Sommano et al. (2011). Chỉ số hóa nâu được tính theo công thức:

$$BI = [100(x - 0,31)]/0,17 \quad (3)$$

$$\text{Với } x = (a^*+1,75L^*)/(5,645L+a^*+3,012b^*) \quad (4)$$

Trong đó, L^* , a^* và b^* là các thông số màu sắc của quả nhãn theo hệ màu CIELAB, ghi nhận bằng máy đo màu Colorimeter cầm tay (JZ-600, Trung Quốc).

Các chỉ tiêu khác được xác định bao gồm: khối lượng (g) sử dụng cân điện tử Vibra (model DJ-1000TW, độ chính xác 0,01 g, Nhật Bản); độ ẩm (%) theo phương pháp sấy ở nhiệt độ 105°C đến khối lượng không đổi (AOAC, 1999); hàm lượng chất khô hòa tan TSS ("Brix" sử dụng chiết quang kế Atago (0-33°Brix, Nhật Bản); hàm lượng acid tổng số TA (%) tính theo acid malic, được xác định dựa trên việc sử dụng dung dịch kiềm chuẩn NaOH 0,1 N để trung hòa hết acid trong thực phẩm với phenolphthalein làm chỉ thị màu (TCVN 4589:1988); hàm lượng vitamin C (mg%) chuẩn độ theo phương pháp Muri, dựa trên tính khử của vitamin C với dung dịch chuẩn độ là thuốc thử 2,6- dichlorophenol indophenol, cho đến khi thay đổi màu dung dịch (Pham & Bui, 1991).

2.4. Phương pháp thu nhận và xử lý số liệu

Thí nghiệm được bố trí ngẫu nhiên với 05 lần lặp lại. Kết quả của các thí nghiệm được phân tích thống kê theo chương trình Statgraphics Centurion 16.2 và phần mềm Excel 2013. Phương pháp phân tích phương sai (ANOVA) và kiểm định LSD được sử dụng để kết luận về sự sai khác giữa trung bình các nghiệm thức. Sự khác biệt ý nghĩa của các nghiệm thức khảo sát được xác định với mức độ tin cậy 95%.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc điểm của quá trình lạnh đông quả nhãn Idor

Đặc điểm của quá trình lạnh đông của quả nhãn được theo dõi bằng cách quan sát đồ thị thay đổi nhiệt độ tâm của quả nhãn theo thời gian lạnh đông tại Hình 1. Kết quả cho thấy, quá trình lạnh đông quả nhãn gần giống với quá trình lạnh đông thực phẩm thông thường được mô tả bởi Fellows (2002). Cụ thể, quá trình lạnh đông của nhãn trong nghiên cứu có thể chia làm 04 giai đoạn chính:

+ AB: là giai đoạn quả nhãn được hạ nhiệt độ đến nhiệt độ đóng băng. Ở giai đoạn này, nghiên cứu không nhận thấy hiện tượng quá lạnh xảy ra trong quá trình lạnh đông thịt quả nhãn. Hiện tượng này

tương tự với nghiên cứu của Sirijariyawat & Charoenrein (2012) khi thực hiện lạnh đông trên bốn loại trái cây, bao gồm táo, xoài, dưa lưới và khóm. Nguyên nhân có thể là do tốc độ hạ nhiệt độ nhanh nên khó quan sát hiện tượng quá lạnh. Hiện tượng này cũng được ghi nhận khi lạnh đông dung dịch đường có nồng độ cao (Sun, 2005).

+ Điểm B là nhiệt độ đóng băng của quả nhãn, được ghi nhận là gần giống nhau ở cả 04 nhiệt độ môi trường lạnh đông, với giá trị trung bình vào khoảng -2,43°C.

+ BC: là giai đoạn nhiệt độ chuyển ra khỏi thực phẩm dưới dạng ẩn nhiệt đóng băng. Do đó, nhiệt độ của quả nhãn gần như đi ngang (nhiệt độ $T = \text{constant}$) ở giai đoạn đầu. Ở giai đoạn sau, do có sự gia tăng hàm lượng chất tan trong pha lỏng, nhiệt độ điểm C giảm thấp hơn điểm B. Đây là giai đoạn mà phần lớn tinh thể đá được hình thành (Nguyen et al., 2017; Sun, 2005).

Fennema (1976) phân loại quá trình lạnh đông theo giãn đồ nhiệt độ tâm sản phẩm thành 03 phương pháp chính: lạnh đông chậm, lạnh đông nhanh và lạnh đông cực nhanh. Theo kết quả nghiên cứu này, quá trình lạnh đông của quả nhãn với nhiệt độ môi trường $\leq -40^\circ\text{C}$ có thể được xem là "quá trình lạnh đông nhanh", khi không thể quan sát được điểm quá lạnh S nhưng có thể quan sát được giai đoạn đi ngang ở đoạn BC.

+ CD: là giai đoạn kết tinh của một số thành phần chất tan khi trở nên quá bão hòa. Do quá trình kết tinh giải phóng nhiệt lượng, nhiệt độ quả trong giai đoạn này tăng đến nhiệt độ eutectic. Giai đoạn này chỉ được quan sát rõ ràng ở nhiệt độ môi trường lạnh đông -40°C và -50°C . Ở mức nhiệt độ thấp hơn, quá trình này xảy ra nhanh hơn, có thể là nguyên nhân làm cho việc theo dõi hiện tượng này trở nên khó khăn hơn (Sun, 2005), một phần có thể do giới hạn của thiết bị đo.

+ Điểm D ghi nhận là nhiệt độ eutectic của nguyên liệu nhãn, có giá trị trung bình $-29,13^\circ\text{C}$. Kết quả này thấp hơn so với nghiên cứu của Chen (2008) khi ghi nhận nhiệt độ eutectic của nhãn tại -26°C .

+ DE: sự tiếp tục hình thành tinh thể của nước và chất tan, đồng thời nhiệt độ của quả giảm xuống đến giới hạn cuối cùng của thiết bị đo, tại giá trị -50°C . Trong giai đoạn này, sự chuyển pha thủy tinh của nguyên liệu không được nhận thấy.

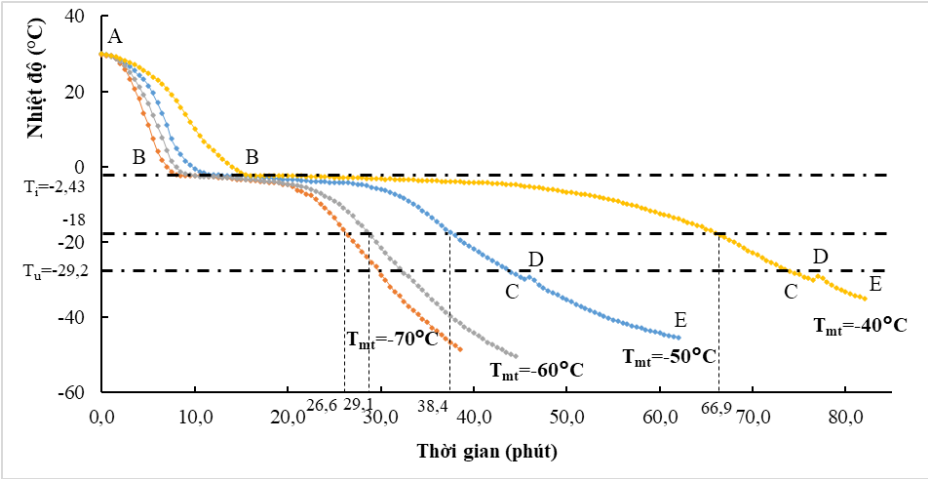
Nhiệt độ đóng băng của quả nhãn vào khoảng $-2,43^\circ\text{C}$, thấp hơn một số loại trái cây thông thường như cà chua ($-0,72^\circ\text{C}$), cam ($-1,17^\circ\text{C}$) táo ($-1,44^\circ\text{C}$) và gần bằng với mận ($-2,28^\circ\text{C}$) hay anh đào ngọt ($-2,61^\circ\text{C}$) (Heldman & Singh, 1981). Từ thông số

nhiệt độ đông băng của quả nhãn, có thể thực hiện tính toán giá trị khối lượng phân tử chất tan của quả nhãn, theo công thức (1) cho giá trị M_s vào khoảng 210,55 g/mol. Giá trị này có thể được áp dụng để tiếp tục tính toán lượng nước đông băng trong sản phẩm theo công thức (2). Tại -18°C , kết quả tính toán cho thấy có 88,57% khối lượng nước trong quả nhãn đông băng, chuyển sang trạng thái tinh thể đá. Kết quả này một lần nữa cho thấy hiệu quả của quá trình lạnh đông giúp làm giảm lượng nước tự do, từ đó giảm thiểu tốc độ xảy ra các phản ứng sinh hóa và ức chế hoạt động của vi sinh vật, qua đó giúp kéo dài thời gian bảo quản thực phẩm (Nguyễn & Tran, 2016). Các kết quả tính toán này cũng được trình bày tóm tắt trong Bảng 1.

Nhiệt độ eutectic của sản phẩm trong nhiều trường hợp cũng cần được quan tâm. Tang & Pikal (2004) nhận thấy trong quá trình sấy thăng hoa có khả năng xảy ra hiện tượng “xẹp” cấu trúc của sản phẩm sau khi xả áp nếu quá trình lạnh đông ban đầu

không hiệu quả. Do đó, nhiệt độ lạnh đông tâm của sản phẩm khi lạnh đông được đề xuất nên thấp hơn nhiệt độ eutectic từ 10°C (Li et al., 2022) đến 20°C (Tang & Pikal, 2004) để quá trình sấy thăng hoa đạt được hiệu quả loại ẩm tốt nhất.

Kết quả trong Bảng 1 đồng thời cũng ghi nhận thời gian lạnh đông đến -18°C và tốc độ lạnh đông của quả nhãn thay đổi theo nhiệt độ môi trường lạnh đông. Về cơ bản, tương ứng nhiệt độ môi trường lạnh đông càng thấp cho thời gian lạnh đông đến -18°C càng ngắn với tốc độ lạnh đông quả nhãn càng cao. Nguyên nhân là do nhiệt độ môi trường thấp làm gia tăng chênh lệch nhiệt độ giữa mẫu với môi trường, tương ứng gia tăng động lực cho quá trình truyền nhiệt, khiến quá trình trao đổi nhiệt từ mẫu ra môi trường xảy ra nhanh hơn (Nguyễn & Tran, 2016). Thông số thời gian lạnh đông đến -18°C cũng là thông số quan trọng, làm cơ sở để nghiên cứu tiếp tục thực hiện lạnh đông quả nhãn và theo dõi sự thay đổi chất lượng của quả sau tan giá.



Hình 1. Sự thay đổi nhiệt độ tâm quả nhãn lạnh đông ở các nhiệt độ môi trường khác nhau

Ghi chú: T_{mt} : Nhiệt độ môi trường, T_i : Nhiệt độ đông băng, T_u : Nhiệt độ eutectic

Bảng 1. Thông số của quá trình lạnh đông quả nhãn trong tủ đông tiếp xúc gián tiếp

Nhiệt độ môi trường ($^{\circ}\text{C}$)	Nhiệt độ đông băng ($^{\circ}\text{C}$)	Nhiệt độ eutectic ($^{\circ}\text{C}$)	Thời gian lạnh đông đến -18°C (phút)	Tốc độ lạnh đông ($^{\circ}\text{C}/\text{phút}$)
-40	$-2,32\pm0,13^a$	$-29,32\pm1,80^a$	$66,90\pm3,99^d$	0,717
-50	$-2,42\pm0,18^a$	$-28,94\pm0,69^a$	$38,40\pm1,98^c$	1,262
-60	$-2,48\pm0,11^a$	-	$29,10\pm0,96^b$	1,649
-70	$-2,50\pm0,07^a$	-	$26,60\pm0,89^a$	1,805
Trung bình	-2,43	-29,13		
Khối lượng phân tử chất tan M_s (g/mol)	210,55			
Tỉ lệ nước đông băng -18°C (%)	88,57			

Kết quả là trung bình của 05 lần lặp lại. Các giá trị trung bình có cùng chữ cái cùng một cột thể hiện sự sai biệt không có ý nghĩa thống kê với độ tin cậy 95%

Bảng 2. Sự thay đổi chất lượng của nhãn sau tan giá khi được lạnh đông ở các nhiệt độ khác nhau

Nhiệt độ môi trường (°C)	Độ ẩm (%)	TSS (°Brix)	Tỉ lệ rỉ dịch (%)	Tỉ lệ nứt vỏ (%)	Chỉ số hóa nâu (BI)	TA (%)	Hàm lượng vitamin C (mg%)
Đối chứng*	79,09±0,69 ^c	18,81±0,81 ^{ab}	0,00±0,00 ^a	0,00±0,00 ^a	47,40±3,78 ^d	0,09±0,01 ^a	35,53±0,74 ^c
-40	77,74±0,16 ^a	20,20±0,45 ^c	6,08±1,01 ^d	94,74±6,14 ^c	22,42±1,87 ^c	0,12±0,01 ^b	30,80±0,45 ^a
-50	78,59±0,19 ^b	19,33±0,34 ^b	2,37±0,51 ^c	87,36±5,87 ^b	18,47±1,45 ^b	0,10±0,01 ^a	30,72±0,32 ^a
-60	79,17±0,18 ^c	18,73±0,20 ^a	1,01±0,21 ^b	82,85±4,14 ^b	13,02±1,25 ^a	0,09±0,01 ^a	32,74±0,21 ^b
-70	79,06±0,21 ^c	18,84±0,12 ^{ab}	1,16±0,18 ^b	87,54±3,87 ^b	13,18±1,08 ^a	0,09±0,01 ^a	32,45±0,28 ^b

*Mẫu đối chứng là mẫu nhãn tươi không cấp đông. Kết quả là trung bình của 05 lần lặp lại. Các giá trị trung bình có cùng chữ cái cùng một cột thể hiện sự sai biệt không có ý nghĩa thống kê với độ tin cậy 95%

3.2. Chất lượng của quả nhãn Idor sau khi tan giá

Quá trình lạnh đông nhãn nguyên quả được thực hiện đến khi nhiệt độ tâm quả đạt -18°C theo thời gian ghi nhận ở Bảng 1. Sau khi bảo ôn trong tủ đông 15 ngày, quả nhãn được tan giá dưới vòi nước chảy và phân tích chất lượng mẫu. Các kết quả ghi nhận được xử lý và tổng hợp tại Bảng 2.

Kết quả tại Bảng 2 cho thấy, có sự khác biệt mang ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$) của hai mẫu quả nhãn được lạnh đông tại nhiệt độ -40°C và -50°C khi so sánh với mẫu đối chứng. Song song với sự sụt giảm độ ẩm của hai mẫu này là sự gia tăng của thành phần chất khô hòa tan TSS và tỉ lệ rỉ dịch. Kết quả này cho thấy có sự thất thoát chất tan của mẫu trong quá trình tan giá. Nguyên nhân là do sự hình thành của tinh thể nước đá trong quá trình lạnh đông và trữ đông (Nguyen et al., 2017; Sun, 2005).

Ở một khía cạnh khác, quá trình lạnh đông tạo nên các tinh thể đá, vốn có thể tích lớn hơn so với nước tinh khiết nên làm tổn thương thành tế bào sinh vật (Nguyen & Tran, 2016). Bên cạnh đó, trong quá trình trữ đông còn có sự thay đổi của nhiệt độ môi trường do bản chất của quá trình hoạt động thiết bị theo chu trình nhiệt lạnh (Sun, 2005). Sự biến động nhiệt độ này làm các phân tử nước bị tan giá một phần, sau đó lại tiếp tục đóng băng khi nhiệt độ giảm, điều này tạo nên các phân tử đá mới có kích thước lớn hơn. Kết quả của sự phát triển kích thước của tinh thể đá trong quá trình trữ đông làm tổn thương thành tế bào. Sự tổn thương này tạo điều kiện để nước và chất tan trong quả nhãn thất thoát ra ngoài cấu trúc tế bào khi tiến hành tan giá.

Tương ứng với việc giảm nhiệt độ môi trường lạnh đông là sự sụt giảm của tỉ lệ rỉ dịch, từ 6,08% ở -40°C xuống còn 2,37% ở -50°C. Khi nhiệt độ môi trường lạnh đông ở mức -60 và -70°C, tỉ lệ rỉ dịch khi tan giá tương ứng là 1,01% và 1,16%, không khác biệt ý nghĩa thống kê. Việc hạ nhiệt độ môi trường lạnh đông tạo động lực cho quá trình truyền

nhiệt, giúp loại bỏ nhiệt từ nguyên liệu ra môi trường nhanh hơn, tương ứng với tốc độ lạnh đông lớn hơn (kết quả Bảng 1). Quá trình lạnh đông nhanh giúp tinh thể đá hình thành với kích thước nhỏ hơn và phân bố đồng đều trong và ngoài thành tế bào, hạn chế sự thất thoát chất khô hòa tan đến từ nguyên nhân tổn thương thành tế bào (Kumar et al., 2020; Sun, 2005). Kết quả này cũng đồng nhất với một số nghiên cứu, như trên quả vải (Nguyen, 2004), quả táo (Chassagne-Berces et al., 2009) hay quả việt quất (Cao et al., 2018).

Kết quả ở Bảng 2 cũng cho thấy, thịt quả nhãn lạnh đông ở nhiệt độ môi trường -40°C có chỉ số hóa nâu BI nhỏ hơn ý nghĩa so với mẫu đối chứng (mẫu nhãn tươi không lạnh đông), tương ứng ở mức 22,42 ở -40°C so với 47,40 ở mẫu đối chứng. Trong quá trình lạnh đông, có sự sắp xếp lại các phân tử nước, làm thịt quả nhãn chuyển từ trạng thái đục hơn trước tan giá trở nên trong hơn sau khi tan giá, có thể là nguyên nhân làm giảm chỉ số hóa nâu BI. Đồng thời, quá trình lạnh đông nhanh hơn cũng ít làm tổn thương tế bào quả nhãn hơn, giúp hạn chế sự hóa nâu của thịt quả. Nhãn lạnh đông tại -60°C và -70°C có giá trị BI ở mức 13,02 và 13,18, thấp hơn ý nghĩa so với mẫu lạnh đông tại -40°C và -50°C. Kết quả tương tự cũng được ghi nhận với thành phần vitamin C, khi nhãn được lạnh đông ở -50°C và -60°C có hàm lượng ở mức 32,45-32,74 mg%, chỉ thấp hơn mẫu đối chứng có hàm lượng 35,53 mg%. Vitamin C là thành phần hòa tan trong nước và sự thất thoát do rỉ dịch có thể là nguyên nhân làm suy giảm hàm lượng phân tích được (Le, 2003).

Kết quả ở Bảng 2 đồng thời cho thấy, quả nhãn dễ bị nứt vỏ khi tiến hành lạnh đông. Các vết nứt xuất hiện trên bề mặt vỏ quả sau quá trình lạnh đông và tan giá, màu trắng ngà hoặc nâu đen, dễ dàng quan sát được trên nền vỏ vàng của quả. Quá trình chuyển pha của nước từ thể lỏng ($\rho = 997,67 \text{ kg/m}^3$) sang thể rắn ($\rho = 919,4 \text{ kg/m}^3$) làm tăng thể tích chung của hệ (Nguyen & Tran, 2016). Với lượng nước đá đóng băng tại -18°C vào khoảng 88,57%

tổng lượng nước trong quả, chiếm 70,05% tổng khối lượng quả, sự tăng thể tích này tạo áp lực lên thành vỏ nhãn, kết quả dẫn đến nứt vỏ. Ở nhiệt độ môi trường -40°C , tỉ lệ nứt vỏ là 94,74%. Khi giảm nhiệt độ môi trường lạnh đông $\leq -50^{\circ}\text{C}$, tỉ lệ nứt vỏ cũng có xu hướng giảm về giá trị 82,85-87,54%. Tuy có khác biệt ý nghĩa thống kê so với kết quả ghi nhận ở -40°C , giá trị này vẫn còn khá cao.

Kết quả hiện tại cho thấy, ở nhiệt độ môi trường -60°C , hiện tượng nứt vỏ chưa làm thay đổi đáng kể chất lượng của quả nhãn sau tan giá. Tuy nhiên, sự nứt vỏ sẽ làm phân rã quả tiếp xúc trực tiếp với môi trường không khí; về lâu dài trong quá trình bảo quản sẽ làm tăng nguy cơ nhiễm chéo, thúc đẩy quá trình hư hỏng. Do đó, các nghiên cứu tiếp theo hướng đến khắc phục hiện tượng nứt vỏ là cần thiết để từ đó có thể kéo dài thời gian trữ đông quả nhãn.

4. KẾT LUẬN

Tổng hợp kết quả nghiên cứu cho thấy, nhiệt độ môi trường lạnh đông ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng của sản phẩm. Đối với quả nhãn Idor, nhiệt độ đóng băng và nhiệt độ eutectic của nguyên liệu

được xác định lần lượt là $-2,43^{\circ}\text{C}$ và $-29,13^{\circ}\text{C}$. Theo dõi chất lượng quả nhãn sau khi tan giá cho thấy, sự thất thoát chất tan và sự nứt vỏ là hai nguy cơ chính gây biến đổi chất lượng sản phẩm. Trong khi sự thất thoát chất tan có thể được giảm thiểu bằng cách hạ nhiệt độ môi trường lạnh đông xuống mức -60°C và -70°C ; tỉ lệ nứt vỏ ở nhãn vẫn ở mức cao (82,85-87,54%). Việc áp dụng thêm các biện pháp kỹ thuật để hạn chế nứt vỏ quả nhãn trong quá trình lạnh đông là cần thiết nhằm duy trì chất lượng của quả trong quá trình tồn trữ.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm nghiên cứu xin được gửi lời cảm ơn đến Ủy ban Nhân dân tỉnh Bến Tre và Trường Đại học Cần Thơ đã hỗ trợ cho nghiên cứu trong phạm vi đề tài Khoa học và Công nghệ cấp tỉnh “Ứng dụng công nghệ tiên tiến trong bảo quản và chế biến sản phẩm từ quả nhãn”.

Nghiên cứu sinh Tô Nguyễn Phước Mai được tài trợ bởi Chương trình học bổng đào tạo tiến sĩ trong nước của Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup (VINIF), mã số VINIF.2024.TS.046.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

- Berk, Z. (2016). *Citrus fruit processing*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-03617-9>.
- Cao, X., Zhang, F., Zhao, D., Zhu, D., & Li, J. (2018). Effects of freezing conditions on quality changes in blueberries. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(12), 4673-4679. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9000>
- Chassagne-Berces, S., Poirier, C., Devaux, M.-F., Fonseca, F., Lahaye, M., Pigorini, G., Girault, C., Marin, M., & Guillon, F. (2009). Changes in texture, cellular structure and cell wall composition in apple tissue as a result of freezing. *Food Research International*, 42(7), 788-797. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.001>
- Chauhan, O. P., Shah, A., Singh, A., Raju, P. S., & Bawa, A. S. (2009). Modeling of pre-treatment protocols for frozen pineapple slices. *LWT-Food Science and Technology*, 42(7), 1283-1288. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.02.019>
- Chen, Y. (2008). Optimization of vacuum freeze-drying technologies of longan fruits. *Nongye Gongcheng Xuebao (Beijing)*, 24(9), 244-248.
- Fellows, P. J. (2002). *Food processing technology: principles and practice* (second edition.). CRC Press, Woodhead Publishing Limited.
- Fennema, O. (1976). The US frozen food industry: 1776-1976. *Food Technology*, 30.
- General Statistics Office. (2024). *Statistical Yearbook 2023*. Statistical Publishing House (in Vietnamese).
- Heldman, D. R., & Singh, R. P. (1981). *Food process engineering*. AVI Publishing Company.
- Huang, H. B. (1995). Advances in fruit physiology of the arillate fruits of litchi and longan. *Annual Review of Horticultural Science*, 1, 107-120.
- Hui, Y. H., Legarretta, I. G., Lim, M. H., Murrell, K. D., & Nip, W.-K. (2004). *Handbook of frozen foods*. CRC Press.
- Kumar, P. K., Rasco, B. A., Tang, J., & Sablani, S. (2020). State/phase transitions, ice recrystallization, and quality changes in frozen foods subjected to temperature fluctuations. *Food Engineering Reviews*, 12, 421-451. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09255-8>
- Le, T. N. (2003). *Food Chemistry*. Science and Technology Publishing House (in Vietnamese).
- Li, Y., Chen, S., Tang, B., Wu, L., & Lai, P. (2022). Eutectic point and freeze-drying curve of *Tremella fuciformis* containing sucrose. *Food Science and Technology*, 42, e98521. <https://doi.org/10.1590/fst.98521>
- Lowithun, N., & Charoenrein, S. (2009). Influence of osmodehydrofreezing with different sugars on the quality of frozen rambutan. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(11),

- 2183-2188. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02058.x>
- Ministry of Science and Technology. (2013). *Vietnam National Standard TCVN 9768:2013 - Fresh Longan Fruit (in Vietnamese)*. <https://tieuchuan.vsqi.gov.vn/tieuchuan/view?sohieu=TCVN+9768%3A2013>
- Nguyen, M. H. (2004). *Research on preservation technology of litchi by individual quick freezing method* (Master thesis.). Hanoi University of Science and Technology, Hanoi (in Vietnamese).
- Nguyen, T. T., Ngo, V. H. & Do, O. V. (2017). Determination of Optimal Harvest Date for Longan cv. 'Edor' in Wet and Dry Season. *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*, 15(6), 826-833 (in Vietnamese).
- Nguyen, V. M., & Tran, T. T. (2016). *Handbook of Low Temperature Processes in Food Processing*. Can Tho University Publisher (in Vietnamese).
- Pham, V. S., & Bui, T. N. T. (1991). *Testing of Food and Agricultural Products*. Hanoi University of Science and Technology (in Vietnamese).
- Prapaipong, H., & Rakariyatham, N. (1990). Enzymic browning in longan. *Microbial Utilization of Renewable Resources*, 7, 77-78.
- Sirijariyawat, A., & Charoenrein, S. (2012). Freezing characteristics and texture variation after freezing and thawing of four fruit types. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 34(5), 517-523.
- Sommano, S., Kanphet, N., Siritana, D. & Ittipunya, P. (2011). Correlation between browning index and browning parameters during the senescence of longan peel. *International Journal of Fruit Science*, 11(2), 197-205. <https://doi.org/10.1080/15538362.2011.578522>
- Sun, D.-W. (2005). *Handbook of frozen food processing and packaging*. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9781420027402>.
- Sutariya, S. G., & Sunkesula, V. (2021). Food freezing: Emerging techniques for improving quality and process efficiency a comprehensive review. *Innovative Food Processing Technologies*, 1-28. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.23035-7>
- Tang, X. & Pikal, M. J. (2004). Design of freeze-drying processes for pharmaceuticals: practical advice. *Pharmaceutical research*, 21, 191-200.
- Xu, X. D., Huang, J. S., Zheng, S. Q., Xu, J. H. & Liu, H. Y. (1999). Effect of smouldering sulphur on browning of picked longan fruit and desulphurizatic effect. *Fujian Journal of Agricultural Science Journal*, 14(1), 34-39.