

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM CẤP ĐÔNG CÁ TRA CÓ HỖ TRỢ SÓNG SIÊU ÂM

EXPERIMENTAL RESEARCH ON ULTRASOUND-ASSISTED FREEZING OF STRIPED CATFISH

KS. Nguyễn Trọng Tín, PGS, TS. Nguyễn Thế Bảo
Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Cấp đông có hỗ trợ sóng siêu âm là một công nghệ bảo quản thực phẩm phổ biến và đáng chú ý nhằm bảo tồn các đặc tính cảm quan và giá trị dinh dưỡng. Việc lựa chọn các thông số sóng siêu âm hỗ trợ cho quá trình cấp đông lại không giống nhau cho tất cả các loại vật liệu và phương pháp cấp đông. Bài báo trình bày một số các ảnh hưởng của sóng siêu âm đến thời gian cấp đông, màu sắc và chất lượng dinh dưỡng trong quá trình cấp đông cá tra phi lê.

Từ khóa: Sóng siêu âm; Quá trình cấp đông; Cá tra phi lê; Thay đổi màu sắc; Chất lượng cấp đông.

ABSTRACT

Ultrasound-assisted freezing is a popular and notable food protection technology that preserves organoleptic properties and nutritional values. The selection of ultrasound parameters for the freezing process is not the same for all types of materials and freezing methods. This article presents some effects of ultrasound on freezing time, color change and nutritional quality during the freezing process of striped catfish fillets.

Keywords: Ultrasound; Freezing Process; Striped Catfish Fillet; Color Change; Frozen Quality.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quá trình cấp đông được chia làm ba giai đoạn: giai đoạn đầu tiên là giai đoạn làm lạnh sơ bộ – làm lạnh vật liệu từ nhiệt độ ban đầu đến nhiệt độ đóng băng. Giai đoạn thứ hai là giai đoạn chuyển pha – kết tinh ẩm trong vật liệu (quá trình chuyển pha từ lỏng sang rắn bằng cách loại bỏ nhiệt ẩn của vật liệu), giai đoạn thứ ba là giai đoạn quá lạnh – quá lạnh vật liệu đến nhiệt độ cuối cùng. Giai đoạn chuyển

pha là giai đoạn quan trọng nhất liên quan đến quá trình kết tinh ẩm trong vật liệu, quyết định đến thời gian cấp đông và chất lượng của vật liệu. Trong giai đoạn này chia làm hai bước: tạo mầm và tăng trưởng tinh thể [1].

Về ảnh hưởng của sóng siêu âm đối với quá trình cấp đông, người ta cho rằng quá trình cấp đông có thể được diễn ra nhanh hơn bởi sự hỗ trợ của sóng siêu âm nhờ quá trình tạo mầm và tăng cường quá trình truyền nhiệt và truyền

chất. Quá trình tạo mầm có hỗ trợ sóng siêu âm gây ra chủ yếu bao gồm hai giai đoạn: tạo mầm sơ cấp và tạo mầm thứ cấp. Giai đoạn tạo mầm sơ cấp được bắt đầu khi nhiệt độ đạt đến nhiệt độ tạo mầm. Trong quá trình tạo mầm thứ cấp, dựa trên các tinh thể băng có sẵn, sự chiếu xạ của sóng siêu âm có thể phá vỡ các đuôi gai của băng tồn tại từ trước thành nhiều mảnh nhỏ hơn, do sự phá vỡ bong bóng và lực cắt bắt nguồn từ dòng chảy vi mô, dẫn đến nhiều vị trí tạo mầm khác nhau được tạo ra. Sự phá vỡ và chuyển động của các bong bóng có thể thay đổi động lực học chất lỏng và tăng hệ số truyền nhiệt và chất. Tuy nhiên, không phải ở cường độ và thời gian phát sóng siêu âm nào cũng tạo ra ảnh hưởng tích cực đến quá trình cấp đông [2]. Do vậy, nếu chọn cường độ sóng siêu âm quá lớn và thời gian phát sóng dài sẽ có ảnh hưởng không có lợi cho quá trình cấp đông do hiệu ứng nhiệt làm tan chảy các tinh thể đá sau đó tinh thể này kết tinh trở lại làm tăng thời gian cấp đông [3]. Mỗi loại vật liệu khác nhau thì ảnh hưởng của cường độ và thời gian phát sóng khác nhau. Do đó, cần có nghiên cứu riêng cho từng loại vật liệu.

Hầu hết các nghiên cứu cấp đông vật liệu có hỗ trợ của sóng siêu âm, vật liệu được nhúng trong chất tải lạnh:

Delgado và cộng sự [4] đã khảo sát ảnh hưởng của sóng siêu âm đến quá trình đông lạnh ngâm với mẫu cắt tiếp tuyến và cắt xuyên tâm quả táo trong hỗn hợp etylen glycol ($C_2H_6O_2$) và nước (1:1, v/v). Kết quả cho thấy rằng ứng dụng của sóng siêu âm (40 kHz, $0,23 \text{ W/cm}^2$) trong 120 giây giảm đáng kể thời gian cấp đông lên đến 8% so với đông lạnh ngâm không sử dụng siêu âm.

Franco và cộng sự [5] đã nghiên cứu ảnh hưởng của sóng siêu âm (40 kHz, 50W)

đến chất lượng của chuỗi trong quá trình làm lạnh. Kết quả cho thấy rằng khả năng cải thiện chống oxy hóa và giữ lại được thành phần phenolic một cách hiệu quả, từ đó duy trì được màu sắc và chất dinh dưỡng tốt hơn. Ngoài ra, công nghệ làm lạnh có hỗ trợ sóng siêu âm có khả năng chống được vi khuẩn tốt hơn.

Islam và cộng sự [6] cho thấy rằng giảm hơn 40% thời gian cấp đông được quan sát thấy trong tất cả các mẫu nắm thử nghiệm trong quá trình cấp đông ngâm có hỗ trợ siêu âm (20 kHz, $0,39 \text{ W/cm}^2$) trong một dung dịch chứa 50% ethylene glycol và 50% nước (v/v).

Chow và cộng sự [7] khảo sát quá trình tạo mầm sơ cấp và thứ cấp của băng được nghiên cứu trong dung dịch sacaroza được tạo ra bằng sóng siêu âm. Nhiệt độ tạo mầm có thể đạt được lớn hơn khi so với các điều kiện không có siêu âm. Các quan sát bằng kính hiển vi cho thấy các tinh thể băng trên bề mặt có thể bị phá vỡ thành các mảnh nhỏ hơn bằng sóng siêu âm.

Qiu và cộng sự [8] đã khảo sát sự ảnh hưởng của phương pháp hỗ trợ sóng siêu âm với tần số 25kHz và công suất 150W, 200W và 250W đến chất lượng của cá mè trắng Hoa Nam. Kết quả cho thấy rằng sóng siêu âm ở công suất 250W thúc đẩy quá trình oxy hóa protein, ở công suất 200W thì khả năng giữ nước và ổn định protein là tốt hơn so với các dãy công suất khác.

J. Tu và cộng sự [3] đã nghiên cứu quá trình cấp đông củ sen có hỗ trợ của sóng siêu âm với tần số 30kHz, công suất lần lượt 90, 150 và 210W. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng hỗ trợ sóng siêu âm ở công suất 150W có tốc độ cấp đông nhanh, cải thiện độ cứng và giảm sự mất nước, tăng khả năng bảo vệ vi cấu trúc của củ sen. 

Xin và cộng sự [9] đã chứng minh rằng cấu trúc vi mô và độ cứng của bông cải xanh làm lạnh có hỗ trợ sóng siêu âm tốt hơn rõ rệt so với những mẫu làm lạnh bằng phương pháp làm lạnh ngâm truyền thống. Và điều kiện làm lạnh có hỗ trợ sóng siêu âm tối ưu thu được khi công suất siêu âm là 150 W, 30 kHz và 175 W, 20kHz.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Vật liệu

Cá tra phi lê tươi được mua tại thành phố Hồ Chí Minh được bảo quản ở nhiệt độ khoảng từ $-1 \div 4^{\circ}\text{C}$ với thời gian chờ đông không được vượt quá 4 giờ. Cá tra phi lê mỗi miếng có khối lượng $250\text{g} \div 5\%$, chiều dày $15\text{mm} \div 5\%$ và khối lượng cá tra phi lê cho mỗi mẻ cấp đông 1000g. Nhiệt độ cá tra phi lê trước khi đưa vào cấp đông từ $10 \div 12^{\circ}\text{C}$.

2.2. Thiết bị thí nghiệm

1) Thiết bị cấp đông: Tủ đông gió hệ thống lạnh 2 cấp.

- Máy nén cấp 1: Model SECOP SC18CL; xuất xứ Trung Quốc.

- Máy nén cấp 2: Model TECUMSEH CAJ2446Z; xuất xứ Malaysia.

- Dàn nóng dải nhiệt gió: Kewely FNF – 1.2/5.4; xuất xứ Trung Quốc.

- Dàn lạnh: Model SUPCOOL DE-0.45/2.5; xuất xứ Trung Quốc.

2) Buồng cấp đông:

Kích thước: 800 x 600 x 500 (mm).

3) Bộ phát sóng siêu âm:

Model CDEXIM0620: tần số phát sóng 20kHz; xuất xứ Trung Quốc.

2.3. Thiết bị đo lường

2.3.1. Đo nhiệt độ

Nhiệt độ tâm vật liệu được đo bằng thiết bị Fox 1004 (-40 đến $90^{\circ}\text{C} \div 0,1^{\circ}\text{C}$), xuất xứ Hàn Quốc.

2.3.2. Cân khối lượng

Khối lượng vật liệu được cân bằng thiết bị cân điện tử Super SS với sai số $\pm 5\text{g}$, xuất xứ Đài Loan.

2.3.3. Đo màu sắc

Các thông số đặc trưng của màu sắc L^* (light/dark), a^* (red/green), b^* (yellow/blue) được đo bằng máy đo màu CHN SPEC CS-10 (Model: CS-10, xuất xứ Trung Quốc). Chỉ số màu WI (White Index) được tính theo ba thông số trên bằng công thức sau [10]:

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

Mức độ thay đổi màu sắc so với giá trị chuẩn được đánh giá thông qua thông số dE được xác định theo công thức [11]:

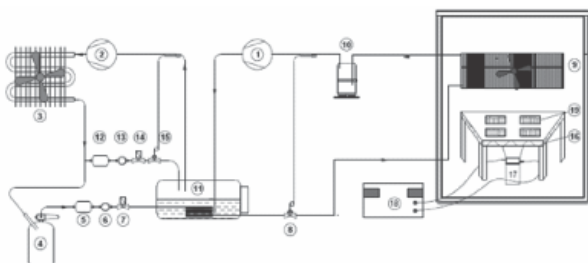
$$dE = \sqrt{(L^* - L_{ref}^*)^2 + (a^* - a_{ref}^*)^2 + (b^* - b_{ref}^*)^2} \quad (2)$$

Trong đó: L_{ref}^* ; a_{ref}^* ; b_{ref}^* là các giá trị chuẩn, sử dụng các giá trị ban đầu của vật liệu tươi (trước khi cấp đông) làm giá trị chuẩn.

2.4. Quy trình thí nghiệm

Vận hành hệ thống hoạt động cho đến khi nhiệt độ ghi nhận được ở buồng cấp đông là -35°C . Vật liệu cấp đông với đầu dò nhiệt độ được đặt vào tâm của vật liệu được tiến hành

đưa lên khay cấp đông tiếp xúc với đầu phát sóng siêu âm trong buồng cấp đông, quá trình cấp đông kết thúc khi nhiệt độ tâm vật liệu đạt -18°C .



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý máy cấp đông có hỗ trợ của sóng siêu âm

- 1 - Máy nén cấp 1; 2 - Máy nén cấp 2;
3 - Dàn ngưng giải nhiệt gió;
4 - Bình chứa cao áp; 5 - Phin lọc 1;
6 - Kính xem ga 1; 7 - Van điện từ 1; 8 - Van tiết lưu nhiệt 1; 9 - Dàn lạnh; 10 - Bình tách lỏng;
11 - Bình trung gian ống xoắn; 12 - Phin lọc 2;
13 - Kính xem ga 2;
14 - Van điện từ 2; 15 - Van tiết lưu nhiệt 2;
16 - Khay chứa vật liệu cấp đông;
17 - Đầu phát sóng siêu âm;
18 - Bộ nguồn phát sóng siêu âm;
19 - Vật liệu cấp đông.

2.5. Phương pháp thực nghiệm

Sử dụng phương pháp thực nghiệm đơn yếu tố để xác định các ảnh hưởng của sóng siêu âm đến quá trình cấp đông của vật liệu:

- Thí nghiệm ảnh hưởng của công suất phát sóng 0, 75, 100, 125, 150 và 175W ở tần số 20kHz đến thời gian cấp đông vật liệu.

- Thí nghiệm ảnh hưởng tỷ lệ phát sóng siêu âm gián đoạn đến thời gian cấp đông.

- Xác định ảnh hưởng của sóng siêu âm đến chất lượng dinh dưỡng, biến đổi màu sắc của vật liệu sau cấp đông.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

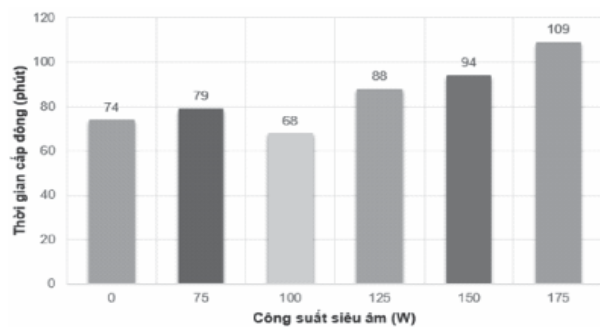
3.1. Thực nghiệm ảnh hưởng của công suất phát sóng siêu âm đến thời gian cấp đông cá tra phi lê

Thực nghiệm cấp đông cá tra phi lê có hỗ trợ của sóng siêu âm ở tần số 20kHz với các công suất phát sóng 0W, 75W, 100W, 125W, 150W và 175W.

Kết quả thí nghiệm:

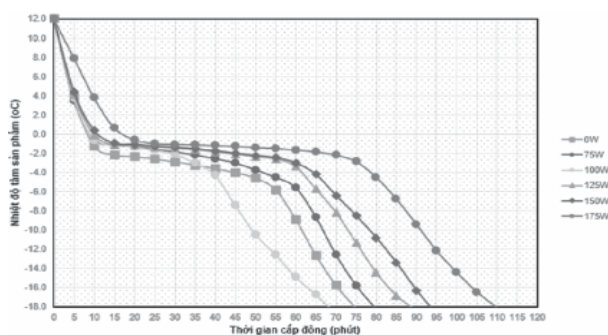
Khi cấp đông cá tra phi lê có sự hỗ trợ của sóng siêu âm tần số cố định 20kHz và công suất thay đổi 0W, 75W, 100W, 125W, 150W và 175W ở cùng điều kiện nhiệt độ môi trường, nhiệt độ vật liệu ban đầu, nhiệt độ và tốc độ không khí đối lưu trong buồng cấp đông. Kết quả cho thấy rằng khi tăng công suất phát sóng siêu âm từ 0W đến 75W thì thời gian cấp đông tăng 6,3%, tiếp tục tăng công suất phát sóng siêu âm lên đến 100W thì thời gian cấp đông được rút ngắn khoảng 8,1% khi so với thời gian cấp đông không có hỗ trợ của sóng siêu âm. Nếu tiếp tục tăng công suất phát sóng siêu âm lên đến 125W, 150W và 175W thì thời gian cấp đông có xu hướng tăng đều cụ thể là tăng thêm lần lượt khoảng 22,7%, 27,7% và 37,6% khi so với thời gian cấp đông khi có hỗ trợ sóng siêu âm ở 100W. Như vậy, thời gian cấp đông vật liệu có hỗ trợ của sóng siêu âm ở mức công suất 100W là thấp nhất. Tuy nhiên, khi tăng công suất phát sóng thì thời gian cấp đông cũng tăng theo do hiệu ứng nhiệt tạo ra từ sóng siêu âm [3].





Hình 2. Thời gian cấp đông với các mức công suất sóng siêu âm

Thực tế, tổng thời gian cấp đông không phản ánh chính xác ảnh hưởng của sóng siêu âm đến quá trình cấp đông cá tra phi lê. Người ta thường tính thời gian cấp đông bằng tổng thời gian của ba giai đoạn: Làm lạnh, chuyển pha và quá lạnh. Hình 3 thể hiện đường cong cấp đông ứng với các chế độ cấp đông có và không có hỗ trợ của sóng siêu âm, có thể chia làm ba giai đoạn: Giai đoạn làm lạnh ($12 \div 0^{\circ}\text{C}$), giai đoạn chuyển pha ($0 \div -5^{\circ}\text{C}$) và giai đoạn quá lạnh ($-5 \div -18^{\circ}\text{C}$) [1].

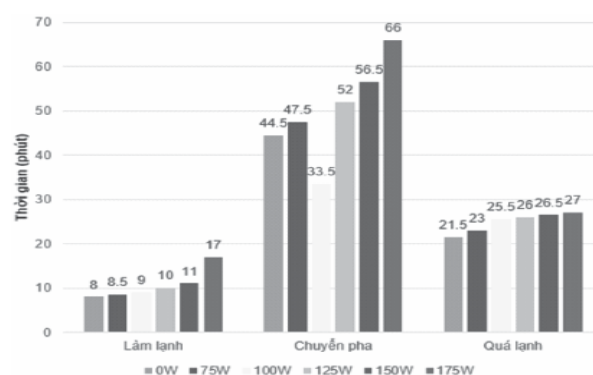


Hình 3. Đường cong cấp đông với các mức công suất sóng siêu âm

Hình 4 thể hiện rằng trong quá trình cấp đông thì thời gian chuyển pha là lớn nhất và thời gian làm lạnh là ngắn nhất ở các chế độ cấp đông. Đối với thời gian ở giai đoạn làm lạnh và quá lạnh sẽ tăng dần khi tăng công suất của sóng siêu âm, cụ thể là ở giai đoạn làm lạnh, khi tăng công suất sóng siêu âm đến 75W, 100W, 125W, 150W và 175W thì thời gian kéo

dài hơn tương ứng khoảng 5,9%, 11,1%, 20%, 27,3% và 52,9% khi so với thời gian làm lạnh khi không có hỗ trợ của sóng siêu âm. Tương tự như vậy, đối với giai đoạn quá lạnh thì thời gian tăng tương ứng là 6,5%, 15,7%, 17,3%, 18,9% và 20,4%. Điều đó có thể thấy, sóng siêu âm hầu như không đóng vai trò có ích trong việc rút ngắn thời gian cấp đông ở các giai đoạn này.

Xét đến giai đoạn chuyển pha có thể thấy rằng ở các công suất siêu âm 75W, 125W, 150W, 175W đều làm gia tăng thời gian ở giai đoạn này, cụ thể thời gian chuyển pha tương ứng mất 47,5 phút, 52 phút, 56,5 phút và 66 phút khi so với 44,5 phút là thời gian chuyển pha khi không có hỗ trợ của sóng siêu âm. Riêng đối với trường hợp ở công suất siêu âm là 100W thì thời gian chuyển pha giảm đáng kể, lên đến 24,7% khi so với thời gian chuyển pha khi không có sự hỗ trợ của sóng siêu âm. Qua các thí nghiệm trên có thể kết luận rằng, khi lựa chọn công suất sóng siêu âm phù hợp là 100W đối với vật liệu cấp đông thì sẽ giúp rút ngắn thời gian chuyển pha đáng kể so với khi không có hỗ trợ của sóng siêu âm dẫn đến rút ngắn toàn bộ quá trình cấp đông. Điều đó cũng được giải thích rằng trong quá trình chuyển pha, sóng siêu âm gây tác động tạo ra nhiều bong bóng trong lòng vật liệu giúp hình thành nhiều các tinh thể băng mịn hơn và tăng cường quá trình trao đổi nhiệt, trao đổi chất [2].



Hình 4. Thời gian mỗi giai đoạn cấp đông với các mức công suất sóng siêu âm

3.2. Thực nghiệm ảnh hưởng của tỷ lệ gián đoạn đến thời gian cấp đông của cá tra phi lê

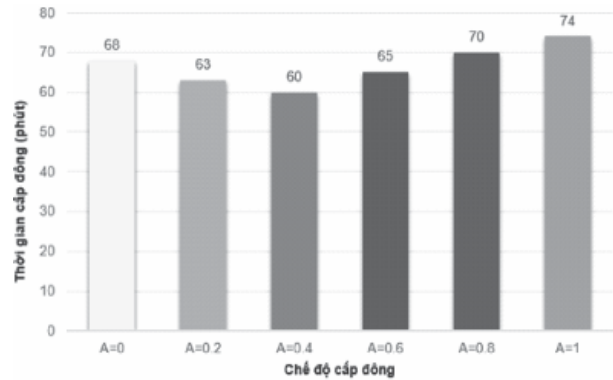
Thực nghiệm cấp đông ở mức công suất 100W (nhiệt độ phát sóng 0°C) với tỷ lệ gián đoạn lần lượt là 0, 0,2, 0,4, 0,6 và 0,8. Tỷ lệ gián đoạn được tính theo công thức [12]:

$$A = \frac{T_{off}}{T_{off} + T_{on}} \quad (3)$$

Trong đó: T_{on} – Thời gian cấp đông có hỗ trợ của sóng siêu âm; T_{off} – Thời gian cấp đông không phát sóng siêu âm.

A = 0: Phát sóng liên tục;
 A = 0,2: 30s bật 7,5s tắt;
 A = 0,4: 30s bật 20s tắt;
 A = 0,6: 30s bật 45s tắt;
 A = 0,8: 30s bật và 120s tắt;
 A = 1: Không phát sóng siêu âm.

Các nghiên cứu trước đây chỉ ra rằng, phát sóng liên tục ảnh hưởng đến thời gian cấp đông. Việc kéo dài thời gian phát sóng sẽ gây ra hiệu ứng nhiệt làm tăng thời gian cấp đông. Do đó, thời gian cấp đông giảm so với chế độ cấp đông không hỗ trợ sóng siêu âm không nhiều [13]. Một số nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ phát sóng gián đoạn đến thời gian cấp đông [14]. Kết quả nghiên cứu cho thấy, tỷ lệ phát sóng gián đoạn ảnh hưởng đến thời gian cấp đông. Hình 5 cho thấy, ở các tỷ lệ phát sóng 0,2, 0,4, 0,6 đều có thời gian cấp đông thấp hơn chế độ không hỗ trợ của sóng siêu âm và khi có hỗ trợ sóng siêu âm liên tục. Ở tỷ lệ 0,4, thời gian cấp đông thấp nhất trong các chế độ cấp đông, giúp rút ngắn khoảng 18,9% thời gian cấp đông khi không có hỗ trợ sóng siêu âm. Điều đó cho thấy việc lựa chọn tỷ lệ thích hợp giúp rút ngắn thời gian cấp đông, giảm thời gian phát sóng và đảm bảo chất lượng sản phẩm.



Hình 5. Ảnh hưởng tỷ lệ phát sóng gián đoạn đến thời gian cấp đông vật liệu

3.3. Ảnh hưởng của sóng siêu âm đến màu sắc của vật liệu sau cấp đông, rã đông

Màu sắc của vật liệu sau cấp đông có thể được đánh giá bằng cảm quan hoặc dựa vào thông số màu sắc. Trong nghiên cứu này, dựa vào các thông số đặc trưng của màu sắc L^* (light/dark), a^* (red/green), b^* (yellow/blue) được đo bằng máy đo màu CHN SPEC CS-10 (Model: CS-10, xuất xứ Trung Quốc). Chỉ số màu WI (White Index) được tính theo ba thông số trên bằng công thức (1):

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

Mức độ thay đổi màu sắc so với giá trị chuẩn được đánh giá thông qua thông số dE được xác định theo công thức (2):

$$dE = \sqrt{(L^* - L_{ref}^*)^2 + (a^* - a_{ref}^*)^2 + (b^* - b_{ref}^*)^2}$$

Trong đó: L_{ref}^* ; a_{ref}^* ; b_{ref}^* là các giá trị chuẩn, sử dụng các giá trị ban đầu của vật liệu tươi (trước khi cấp đông) làm giá trị chuẩn. Qua các thực nghiệm về ảnh hưởng của siêu âm đến thay đổi màu sắc, kết quả như sau:

Bảng 1. Chỉ số màu của mẫu vật liệu tươi và các mẫu vật liệu sau cấp đông

Loại vật liệu	L*	a*	b*	WI
Mẫu tươi	46,26 ± 0,26	-1,21 ± 0,03	0,53 ± 0,03	46,24
Không có hỗ trợ siêu âm	60,13 ± 0,48	1,73 ± 0,15	5,08 ± 0,10	59,77
Hỗ trợ siêu âm 100W liên tục	59,64 ± 0,11	2,30 ± 0,30	5,78 ± 0,10	59,16
Hỗ trợ siêu âm 100W; A = 0,4	58,12 ± 0,40	1,53 ± 0,22	5,35 ± 0,05	57,75

Các kết quả ở bảng 1 có thể nhận thấy rằng, chỉ số L* và WI ở các chế độ cấp đông đều khác nhau không đáng kể và tất cả đều cao hơn so với mẫu tươi chưa qua cấp đông. Điều đó được giải thích rằng trong quá trình cấp đông, ẩm có xu hướng di chuyển từ bên trong ra bề mặt vật liệu cấp đông và kết tinh. Do đó, các mẫu sau cấp đông ở các chế độ sẽ có màu sắc sáng hơn so với mẫu vật liệu tươi. Kết quả này cũng phù hợp với kết quả từ các thí nghiệm của Tu và cộng sự về củ sen [3].

Bảng 2. Chỉ số màu của mẫu vật liệu tươi và các mẫu vật liệu sau rã đông

Loại vật liệu	L*	a*	b*	WI	dE
Mẫu tươi	46,26 ± 0,26	-1,21 ± 0,03	0,53 ± 0,03	46,24	-
Không có hỗ trợ siêu âm	53,14 ± 0,11	2,70 ± 0,07	2,40 ± 0,01	53,00	8,13
Hỗ trợ siêu âm 100W liên tục	52,12 ± 0,12	3,13 ± 0,05	2,83 ± 0,07	51,93	7,65
Hỗ trợ siêu âm 100W; A = 0,4	51,71 ± 0,06	1,91 ± 0,02	1,14 ± 0,07	51,66	6,31

Màu sắc là chỉ số quan trọng để đánh giá cảm quan của vật liệu. Các chỉ số L*, a*, b* còn được ứng dụng để tính toán độ thay đổi màu sắc thông qua chỉ số dE. Chỉ số dE càng cao thể hiện cho mức độ thay đổi màu sắc càng lớn khi so với mẫu chuẩn (mẫu tươi). Qua bảng số liệu có thể thấy rằng, ở các chế độ cấp đông khác nhau đều sẽ làm thay đổi màu sắc của vật liệu sau khi rã đông khi so với vật liệu tươi ban đầu chưa qua cấp đông. Khi cấp đông không có hỗ trợ của sóng siêu âm thì độ thay đổi màu sắc sẽ lớn hơn khi có sự hỗ trợ của sóng siêu âm. Cụ thể đối với quá trình cấp đông không có hỗ trợ của sóng siêu âm thì chỉ số dE là 8,13, theo sau đó là quá trình cấp đông có hỗ trợ sóng siêu âm liên tục ở công suất là 100W thì chỉ số dE là 7,65 và quá trình cấp đông có hỗ trợ sóng siêu âm với tỷ lệ gián đoạn là 0,4 ở công suất 100W thì cho chỉ số dE là thấp nhất với 6,31.

Qua các kết quả từ bảng 1 và bảng 2, ta có thể kết luận rằng khi cấp đông có hỗ trợ của sóng siêu âm sẽ không làm ảnh hưởng đến màu sắc của vật liệu sau cấp đông và giúp giảm độ thay đổi màu sắc của vật liệu sau rã đông khi so với khi cấp đông không có hỗ trợ của sóng siêu âm.

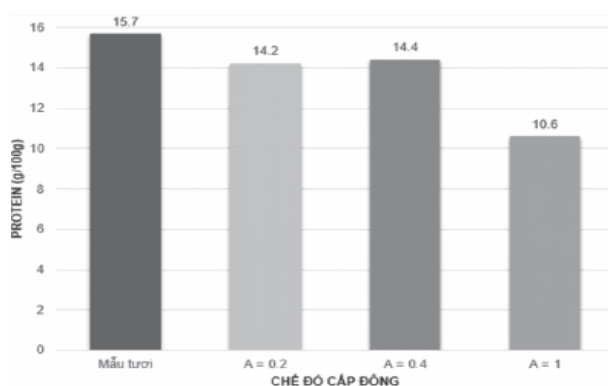
3.4. Thực nghiệm ảnh hưởng của sóng siêu âm đến chất lượng dinh dưỡng của cá tra phi lê sau cấp đông

Ở cá tra phi lê bao gồm rất nhiều các thành phần dinh dưỡng khác nhau, đặc biệt protein là thành phần dinh dưỡng chiếm tỉ lệ cao nhất. Để đánh giá ảnh hưởng của sóng siêu âm đến hàm lượng protein còn lại sau khi rã đông so với mẫu tươi, ta sẽ phân tích mẫu theo phương pháp AOAC 991.20 từ trung tâm phân

tích mẫu thí nghiệm. Kết quả phân tích các mẫu thí nghiệm ở các chế độ cấp đông như sau:

Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc ứng dụng sóng siêu âm khi hỗ trợ cho quá trình cấp đông có khả năng giữ lại được thành phần dinh dưỡng tốt hơn khi so với quá trình cấp đông không có sóng siêu âm [6].

Hình 6 thể hiện kết quả hàm lượng protein ở các chế độ cấp đông khác nhau và hàm lượng protein có trong mẫu cá tươi. Qua kết quả trên, ta thấy rằng khi có sự hỗ trợ của sóng siêu âm trong quá trình cấp đông đã giúp cho hàm lượng protein sau rã đông cao hơn đáng kể so với việc cấp đông không có sự hỗ trợ của sóng siêu âm. Đối với sóng siêu âm có công suất 100W và tỷ lệ gián đoạn ở 0,4, hàm lượng protein sau cấp đông là 14,4 g/100g cá, cao hơn khoảng 26,4% khi so với quá trình cấp đông không có hỗ trợ của sóng siêu âm là 10,6 g/100g cá và đối với quá trình cấp đông hỗ trợ sóng siêu âm ở tỷ lệ gián đoạn là 0,2 thì hàm lượng protein sau cấp đông là 14,2 g/100g cá, thấp hơn khoảng 1,4% khi so với quá trình cấp đông ở tỷ lệ gián đoạn 0,4 là 14,4 g/100g cá. Qua các kết quả trên, ta kết luận rằng sóng siêu âm có ảnh hưởng tích cực hiệu quả trong việc đảm bảo chất lượng dinh dưỡng của vật liệu sau cấp đông.



Hình 6. Ảnh hưởng của sóng siêu âm đến hàm lượng protein sau rã đông

4. KẾT LUẬN

- Đề tài nghiên cứu thực nghiệm cho thấy rằng sóng siêu âm có ảnh hưởng tích cực đến quá trình cấp đông cá tra phi lê. Đối với sóng siêu âm ở công suất là 100W, tần số 20kHz và tỷ lệ gián đoạn phát sóng là 0,4 giúp rút ngắn thời gian cấp đông, đảm bảo màu sắc và chất lượng dinh dưỡng vật liệu sau cấp đông, rã đông tốt nhất.

- Hướng phát triển tiếp theo của đề tài: Từ các kết quả thực nghiệm đơn yếu tố, tiến hành thực nghiệm đa yếu tố nhằm xác định được chế độ cấp đông thích hợp. ❖

Ngày nhận bài: 28/10/2023

Ngày phản biện: 16/11/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Ma, X., Mei, J., Xie, J. (2021). *Mechanism of ultrasound assisted nucleation during freezing and its application in food freezing process*. Int. J. Food Prop. 24, 68-88.
- [2]. Xizhe Fu, Tarun Belwal, Giancarlo Cravotto, Zisheng Luo (2020). *Sono-physical and sono-chemical effects of ultrasound: Primary applications, in extraction and freezing operations and influence on food components*. Ultrasonics Sonochemistry. 60, 104726.
- [3]. J. Tu, M. Zhang, B.G. Xu, H.H. Liu (2014). *Effects of different freezing methods on the quality and microstructure of Lotus (Nelumbo nucifera) root*. International Journal of Refrigeration. 52, 59-65.
- [4]. A.E. Delgado, L.Y. Zheng, D.W. Sun (2009). *Influence of ultrasound on freezing rate of immersion-frozen apples*, Food Bioprocess Technol. 2, 263-270.
- [5]. R.R. Franco, G.A. Ojeda, K.M. Rompato, S.C. Sgroppo (2021). *Effects of short-wave ultraviolet light, ultrasonic and microwave treatments on banana puree during*

- refrigerated storage*. Food Science and Technology International. 29, 1.
- [6]. M.N. Islam, M. Zhang, B. Adhikari, X.F. Cheng, B.G. Xu (2014). *The effect of ultrasound-assisted immersion freezing on selected physicochemical properties of mushrooms*, Int. J. Refrig. 42, 121-133.
- [7]. R. Chow, R. Blindt, R. Chivers, M. Povey (2003). *The sonocrystallization of ice in sucrose solutions: primary and secondary nucleation*, Ultrasonics 41, 595-604.
- [8]. S. Qiu, F.C. Cui, J.X. Wang, W.H. Zhu, Y.X. Xu, S.M. Yi, X.P. Li, J.R. Li (2022). *Effects of ultrasound-assisted immersion freezing on the muscle quality and myofibrillar protein oxidation and denaturation in Sciaenops ocellatus* Food Chem, 377, 131949.
- [9]. Xin, Y., Zhang, M., & Benu, A. (2014). *The effects of ultrasound-assisted freezing on the freezing time and quality of broccoli (Brassica oleracea L. var. botrytis L.) during immersion freezing*. International Journal of Refrigeration, 41, 82-91.
- [10]. Zhang, C.; Li, X.; Wang, H.; Xia, X.; Kong, B. (2020). *Ultrasound-assisted Immersion Freezing Reduces the Structure and Gel Property Deterioration of Myofibrillar Protein from Chicken Breast*. Ultrason. Sonochem. 67, 105137.
- [11]. H Xi, Y Liu, L Guo, R Hu. (2019). *Effect of ultrasonic power on drying process and quality properties of far-infrared radiation drying on potato slices*. Food Science and Biotechnology, 9.
- [12]. Yang, Z.; Yu, F.; Tao, Z. (2020). *Ultrasound-assisted heat pump intermittent drying of adzuki bean seeds: Drying characteristics and parameter optimization*. J. Food Process Eng. 43, 13501.
- [13]. Mortazavi, S., & Tabatabaei, F. (2008). *Study of ice cream freezing process after treatment with ultrasound*. World Applied Sciences Journal, 4(2), 188–190.
- [14]. S.Q. Hu, G. Liu, L. Li, Z.X. Li, Y. Hou (2013). *An improvement in the immersion freezing process for frozen dough via ultrasound irradiation*, J. Food Eng. 114, 22–28.