

ẢNH HƯỞNG CỦA SÓNG SIÊU ÂM ĐẾN SỰ THAY ĐỔI SINH LÝ VÀ HOẠT TÍNH CHỐNG OXY HÓA CỦA TRÁI ĐẬU BẮP SAU THU HOẠCH

Nguyễn Trung Trục^{1,*}, Lâm Hòa Hưng¹, Huỳnh Thị Phương Thảo¹,
Cao Tấn Pul¹, Ôn Tiểu Phương¹

TÓM TẮT

Nghiên cứu ảnh hưởng của sóng siêu âm đến sự thay đổi sinh lý và hoạt tính chống oxy hóa của trái đậu bắp sau thu hoạch đã được thực hiện ở các chế độ 58 kHz-1,5 phút, 132 kHz-1,5 phút, 58 kHz-2,0 phút và nghiệm thức đối chứng không xử lý sóng siêu âm. Kết quả cho thấy, đậu bắp được xử lý ở tần số 58 kHz trong thời gian 1,5 phút (58 kHz-1,5 phút) có tác dụng làm chậm sự thay đổi sinh lý từ ngày 6 đến cuối giai đoạn tồn trữ như giảm tốc độ hô hấp, độ cứng, sự thay đổi màu sắc và tổn thất khối lượng khi so với nghiệm thức đối chứng, nghiệm thức 132 kHz-1,5 phút và 58 kHz-2,0 phút. Bên cạnh đó, nghiệm thức 58 kHz-1,5 phút đã duy trì hàm lượng của các hợp chất có hoạt tính chống oxy hóa như chlorophyll, vitamin C và phenolics cao hơn nghiệm thức đối chứng ở ngày 3 đến ngày 9 của quá trình tồn trữ. Vì vậy, sóng siêu âm có tiềm năng trong việc kéo dài thời gian tồn trữ và duy trì hàm lượng các hợp chất chống oxy hóa của trái đậu bắp sau thu hoạch.

Từ khóa: Sóng siêu âm, đậu bắp, *Hibiscus esculentus* L., chống oxy hóa, chất lượng.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đậu bắp (*Abelmoschus esculentus* L.) là loại cây trồng giàu các chất dinh dưỡng và các thành phần hoạt tính sinh học như chất xơ, vitamin, dầu, polysaccharides và polyphenol. Những thành phần này góp phần làm cho đậu bắp có tác dụng chống oxy hóa, chống viêm, hạ đường huyết và các chức năng khác. Do vậy, đậu bắp đã trở thành một loại cây trồng quan trọng về kinh tế ở vùng nhiệt đới và cận nhiệt đới trên thế giới [1]. Trong lĩnh vực thực phẩm, trái đậu bắp đã được sử dụng như một loại rau và được dùng trong các món salad, súp và hầm [2]. Tuy nhiên, trái đậu bắp tươi có thời gian sử dụng ngắn do tốc độ hô hấp mạnh và sự mất nước cao [3]. Sự thay đổi sinh lý sau thu hoạch làm giảm giá trị dinh dưỡng, hạn chế thời gian tồn trữ và ảnh hưởng đến giá trị kinh tế của trái đậu bắp. Do vậy, việc sử dụng các biện pháp xử lý sau thu hoạch nhằm kéo dài thời gian tồn trữ, duy trì giá trị dinh dưỡng và hoạt tính chống oxy hóa của đậu bắp là việc cần thiết. Các kết quả nghiên cứu trước đây cho thấy, đậu bắp sau thu hoạch được kéo dài thời gian tồn trữ và duy trì giá trị dinh dưỡng bằng cách sử dụng các biện pháp xử lý như 1-Methylcyclopropene, màng bao edible coating

(alginate), polyamine (putrescine) hoặc tồn trữ trong điều kiện nhiệt độ thấp [3, 4, 5, 6]. Tuy nhiên, các biện pháp xử lý trên có nguồn gốc hóa học có thể không an toàn với người tiêu dùng hoặc gây ra tổn thương lạnh và chi phí tồn trữ cao. Vì vậy, việc nghiên cứu tìm các giải pháp thay thế là cần thiết.

Sóng siêu âm là một dạng năng lượng được tạo ra bởi sóng âm ở tần số cao (> 16 kHz) mà tai người không thể phát hiện [7]. Sóng siêu âm là một kỹ thuật mới được dùng để xử lý rau quả sau thu hoạch nhằm mục đích duy trì chất lượng và kéo dài thời gian bảo quản. Khi so sánh sóng siêu âm với các phương pháp xử lý sau thu hoạch khác thì sóng siêu âm an toàn hơn, không độc hại và thân thiện với môi trường [8]. Các nghiên cứu cho thấy sóng siêu âm có tác dụng duy trì độ cứng, hàm lượng vitamin C, phenolics và hoạt tính chống oxy hóa của quả dâu tây [9, 10], cà chua [11, 12]. Ngoài ra, sóng siêu âm còn cho thấy khả năng giảm tốc độ hô hấp và duy trì chất lượng của trái táo sau thu hoạch [13, 14]. Từ các nghiên cứu trên có thể thấy sóng siêu âm có tiềm năng trong việc làm giảm sự thay đổi sinh lý sau thu hoạch, duy trì chất lượng và hoạt tính chống oxy hóa trên trái cây. Tuy nhiên, sự ảnh hưởng của sóng siêu âm đến sự thay đổi sinh lý và hoạt tính chống oxy hóa của trái đậu bắp sau thu hoạch chưa được nghiên cứu. Mục tiêu của nghiên cứu là đánh giá ảnh hưởng của chế độ xử lý sóng siêu âm đến sự thay đổi màu

¹ Khoa Khoa học Sinh học ứng dụng, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

*Email: trucnt@vnlute.edu.vn

sắc, tốc độ hô hấp, độ cứng và hoạt tính chống oxy hóa của trái đậu bắp sau thu hoạch.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thu mẫu và xử lý sóng siêu âm

Đậu bắp “giống 5 cạnh TN4” được thu mua từ vườn tại huyện Long Hồ, tỉnh Vĩnh Long được vận chuyển về phòng thí nghiệm trong thời gian 30 phút ở nhiệt độ môi trường $30 \pm 2^\circ\text{C}$, sau đó phân loại và lựa chọn mẫu đồng nhất về kích cỡ (dài 12 cm x đường kính 2 cm) và màu sắc, không bị sâu, bệnh và các tổn thương về mặt cơ học. Tiếp đến rửa dưới vòi nước để loại sạch bụi bẩn, để khô tự nhiên ở nhiệt độ phòng trước khi xử lý. Thí nghiệm khảo sát đánh giá sự hiệu quả của chế độ xử lý sóng siêu âm đã được khảo sát với 375 trái đậu bắp đã được lựa chọn và được chia thành 25 nhóm, mỗi nhóm có 15 trái. Tiếp đến, mẫu được đưa vào hệ thống bể rửa có kết nối trực tiếp với bộ nguồn phát sóng siêu âm (600 mm x 380 mm x 350 mm; IDS 2415/SM; Crest Ultrasonic, Mỹ) với công suất nguồn 360 W và hệ thống nước lạnh tuần hoàn liên tục nhằm giữ cho nhiệt độ của hệ thống bể rửa siêu âm ổn định ở 29°C trong quá trình xử lý. Nguồn phát sóng siêu âm được điều chỉnh ở các tần số lần lượt là 58, 132 và 192 kHz; thời gian xử lý ở mỗi tần số lần lượt là 1,5; 2,0; 3,0; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 và 15,0 phút và nghiệm thức không xử lý sóng siêu âm được giữ làm nghiệm thức đối chứng. Sau khi kết thúc quá trình, mẫu được đem ra ngoài để khô tự nhiên và được tồn trữ ở nhiệt độ 25°C trong bao bì polypropylene đã đục lỗ (kích thước bao bì 22 cm x 18 cm, được đục 32 lỗ, mỗi lỗ có đường kính 6 mm). Kết quả cho thấy các chế độ xử lý sóng siêu âm tại 58 kHz-1,5 phút; 58 kHz-2,0 phút và 132 kHz-1,5 phút cho kết quả tổn thất khối lượng, sự thay đổi màu sắc và hư hỏng thấp hơn mẫu đối chứng. Do vậy, 3 chế độ xử lý sóng siêu âm trên được sử dụng cho toàn bộ thí nghiệm.

Tất cả các trái đậu bắp đã được lựa chọn cho thí nghiệm được chia thành 4 nhóm bằng nhau, mỗi nhóm có 75 trái được thực hiện giống với phần mô tả thí nghiệm trên. Các nhóm mẫu lần lượt xử lý sóng siêu âm ở các chế độ 58 kHz-1,5 phút, 132 kHz-1,5 phút, 58 kHz-2,0 phút và nghiệm thức không xử lý sóng siêu âm được giữ cho mẫu đối chứng (mẫu được ngâm trong nước trong thời gian 2,0 phút) [5]. Mẫu được lấy ở ngày 0 và sau mỗi 3 ngày trong suốt quá trình tồn trữ để phân tích các chỉ tiêu như thay đổi màu sắc, tổn thất khối lượng, độ cứng của quả,

tốc độ hô hấp, hoạt tính chống oxy hóa (DPPH), hàm lượng vitamin C, hàm lượng chlorophyll và hàm lượng phenolic tổng. Thí nghiệm được lặp lại 3 lần.

2.2. Phương pháp phân tích

2.2.1. Xác định sự thay đổi sinh lý của trái

Sự thay đổi màu sắc của đậu bắp được xác định dựa vào thiết bị đo màu Hunter Lab (MH-C800 4500L, Mỹ). Các giá trị L^* , a^* , b^* được ghi nhận.

Tốc độ hô hấp được đo bằng cảm biến khí CO_2 ($\text{CO}_2\text{-BTA}$, Vernier, Mỹ) được kết nối với máy tính theo phương pháp của Raudiene và cs (2017) [15]. Các giá trị nồng độ CO_2 và nhiệt độ được ghi nhận. Tốc độ hô hấp của đậu bắp được tính toán theo công thức (2.1).

$$\text{TĐHH} = \frac{C_{\text{CO}_2} \times M_{\text{CO}_2}}{m_{\text{mẫu}} \times t} \quad (2.1)$$

Trong đó: TĐHH là tốc độ hô hấp của mẫu ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$); C_{CO_2} là nồng độ của khí CO_2 của mẫu sinh ra trong không gian rộng (thể tích bình ủ mẫu trừ đi thể tích mẫu) (mmol); M_{CO_2} là khối lượng phân tử khí CO_2 (44,01 g/mol); $m_{\text{mẫu}}$ là khối lượng của mẫu dùng để đo tốc độ hô hấp (kg); t là thời gian ủ mẫu (giờ).

Tổn thất khối lượng của trái được đo lường dựa vào cân kỹ thuật 2 số lẻ (TXB-622L, Shimadu, Nhật Bản) và tính toán tỷ lệ phần trăm tổn thất khối lượng so với ban đầu.

Độ cứng của trái được xác định bằng cách đo lực cắt của trái dựa vào thiết bị đo cấu trúc (TMS PRO, Food Technology Corporation, Mỹ). Vận tốc của dao (độ dày 2 mm) được điều chỉnh ở 120 mm min^{-1} và cắt ở vị trí giữa trái đến khi trái bị đứt hoàn toàn. Giá trị của lực cắt được biểu thị là Newton (N).

2.2.2. Phân tích các hợp chất có hoạt tính chống oxy hóa

Vỏ của trái đậu bắp được đóng băng bằng dung dịch ni tơ lỏng, sau đó được nghiền thành bột trước khi được phân tích. Sử dụng 0,2 g bột mẫu và 1,8 mL methanol lạnh (dùng cho chỉ tiêu DPPH và phenolics tổng) hoặc dung dịch axit metaphosphoric 5% lạnh (dùng phân tích hàm lượng vitamin C), tiếp theo là vortex trong 1 phút và ly tâm lạnh ở 10.000 vòng/phút, 5 phút và nhiệt độ 4°C sẽ thu được dịch trích dùng cho phân tích các chỉ tiêu.

Hoạt tính chống oxy hóa DPPH (2,2- diphenyl-1-picrylhydrazyl) được thực hiện theo Li và cs (2018) [16] với một số điều chỉnh. Hỗn hợp phản ứng chứa đựng 0,15 mL dịch trích và 1,85 mL DPPH 120 μ M trong methanol, tiếp đến ủ ở nhiệt độ phòng trong 30 phút trong bóng tối. Mẫu kiểm soát được chuẩn bị bằng cách dùng methanol thay thế cho dịch trích trong cùng điều kiện. Độ hấp thụ được đo ở bước sóng 525 nm và kết quả được tính toán theo công thức (2.2).

$$\%DPPH = \left(\frac{Abs_{kiểm soát} - Abs_{mẫu}}{Abs_{kiểm soát}} \right) \times 100 \quad (2.2)$$

Hàm lượng phenolics được định lượng dựa theo Singleton và cs (1998) [17]. Hỗn hợp phản ứng chứa đựng 50 μ L dịch trích (mẫu blank dùng methanol thay cho dịch trích), 250 μ L thuốc thử Folin-Ciocalteu, 750 μ L sodium carbonate 7,5% và 2 mL nước cất. Hỗn hợp phản ứng được vortex và ủ trong bể ổn định nhiệt ở 40°C trong 30 phút. Độ hấp thụ được đo ở bước sóng 750 nm và kết quả được tính toán dựa vào đường chuẩn của axit gallic trong cùng điều kiện.

Hàm lượng vitamin C được phân tích theo Nguyen và cs (2021) [18] với một số điều chỉnh. Hỗn hợp của phản ứng bao gồm 0,4 mL dịch trích, 0,6 mL di-indophenol 0,02%, 0,8 mL thiourea 2% và 0,6 mL dinitrophenol hydrazine 2%, sau đó vortex và ủ trong bể ổn định nhiệt ở 50°C trong 1 giờ. Tiếp đến, 1 mL của axit sulfuric 85% được thêm vào hỗn hợp trên và tiếp tục ủ ở nhiệt độ phòng (25°C) trong 30 phút. Độ hấp thụ được đo ở bước sóng 540 nm và kết quả được tính toán dựa vào đường chuẩn của vitamin C trong cùng điều kiện.

Hàm lượng chlorophyll được xác định theo Moran (1982) [19]. 0,5 g bột vỏ đậu bắp được ủ với 10 mL N,N-dimethylformamide ở 4°C, trong điều kiện tối, 24 giờ. Dung dịch được lọc qua giấy Whatman No.1 và định mức đến 10 mL bằng N,N-dimethylformamide. Giá trị độ hấp thụ của chlorophyll được đo ở bước sóng 664 và 647 nm. Hàm lượng chlorophyll (μ g/mL) được tính toán theo công thức (2.3), (2.4), (2.5).

$$\text{Chlorophyll a} = 12,64 \times A_{664} - 2,09 \times A_{647} \quad (2.3)$$

$$\text{Chlorophyll b} = -5,6 \times A_{664} + 23,26 \times A_{647} \quad (2.4)$$

$$\text{Chlorophyll tổng số} = 7,04 \times A_{664} + 21,17 \times A_{647} \quad (2.5)$$

Trong đó: A_{664} và A_{647} lần lượt là độ hấp thụ của mẫu ở các bước sóng 664 và 647 nm.

2.3. Phân tích thống kê

Tất cả số liệu thu nhận từ thí nghiệm được xử lý bằng phần mềm thống kê Statgraphics Centurion XV. Sử dụng phương pháp phân tích phương sai (ANOVA) để đưa ra kết luận về sự sai biệt giữa các giá trị trung bình các nghiệm thức. Các giá trị trung bình của nghiệm thức được so sánh bằng phương pháp LSD ở mức ý nghĩa 5%.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

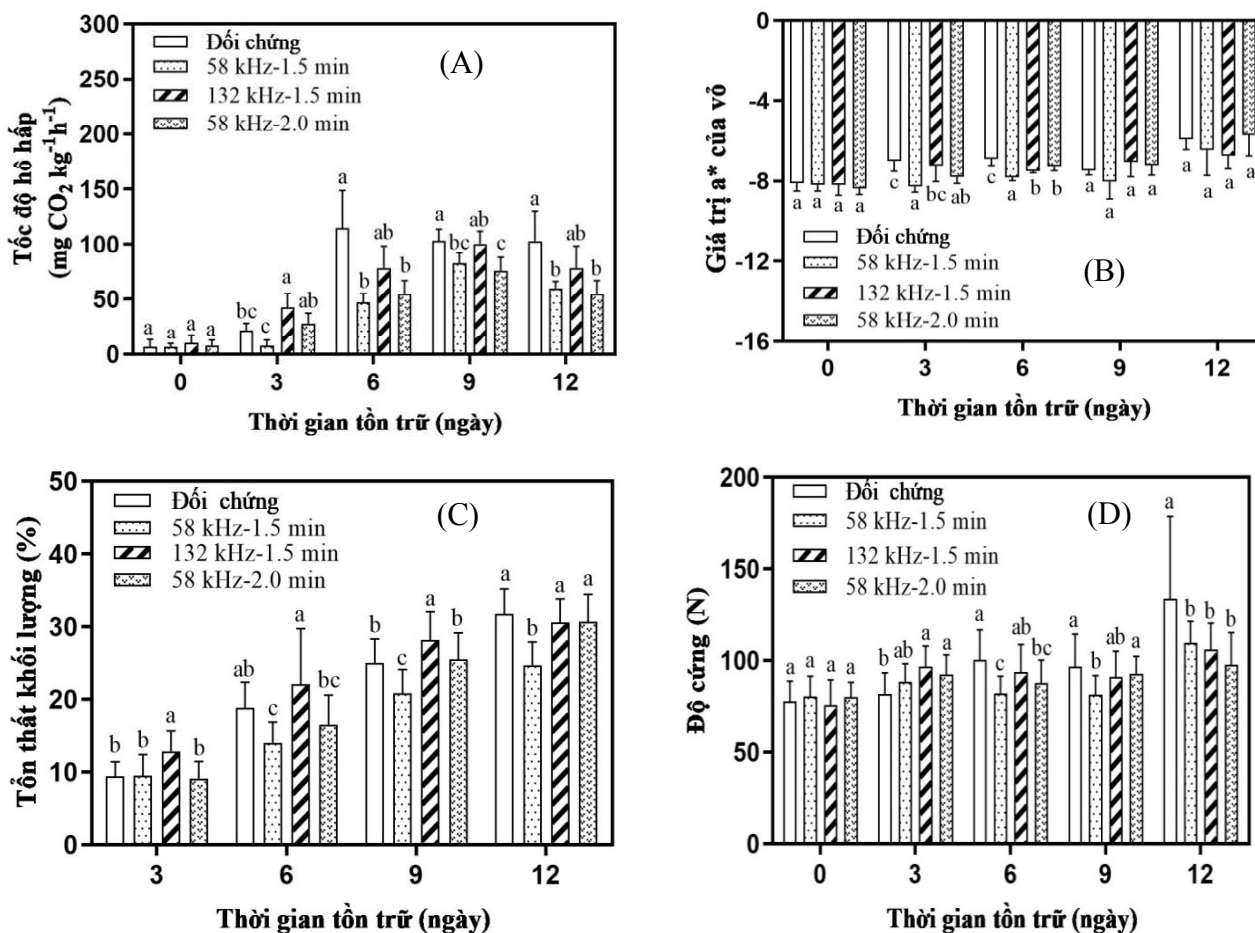
3.1. Ảnh hưởng của sóng siêu âm đến sự thay đổi sinh lý của đậu bắp

Sự thay đổi sinh lý của trái đậu bắp sau thu hoạch là một trong những yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng và khả năng chấp nhận của người tiêu dùng. Các nghiên cứu cho thấy trái đậu bắp sau thu hoạch có sự gia tăng tốc độ hô hấp và sản sinh khí ethylene dẫn đến độ cứng, sự mất nước tăng lên và màu sắc thay đổi từ xanh sang vàng [6]. Do vậy, việc áp dụng các biện pháp xử lý sau thu hoạch nhằm làm chậm sự thay đổi sinh lý, giúp duy trì chất lượng và thời gian tồn trữ của đậu bắp đã được thực hiện. Nghiên cứu này đã khảo sát ảnh hưởng của tần số sóng siêu âm và thời gian xử lý đến sự thay đổi sinh lý của trái đậu bắp sau thu hoạch. Các kết quả được thể hiện ở hình 1A-D. Vào ngày 0, không có sự khác biệt về tốc độ hô hấp giữa các nghiệm thức. Từ ngày 3 đến 12, tốc độ hô hấp của đậu bắp có xu hướng tăng lên và đạt đỉnh hô hấp ở ngày 6 (đối chứng) và ngày 9 đối với các nghiệm thức còn lại. Có thể thấy sóng siêu âm đã làm giảm tốc độ hô hấp so với nghiệm thức đối chứng trong suốt thời gian tồn trữ. Trong các nghiệm thức có xử lý sóng siêu âm thì nghiệm thức 58 kHz-1,5 phút có tốc độ hô hấp thấp nhất tiếp đến là nghiệm thức 58 kHz-2,0 phút và 132 kHz-1,5 phút trong suốt thời gian tồn trữ (Hình 1A). Điều này có thể là do sóng siêu âm đã làm giảm hoạt tính các enzyme tham gia vào quá trình hô hấp hoặc làm thay đổi quá trình chuyển hóa trong tế bào. Xu và cs (2019) [13] đã chứng minh rằng sóng siêu âm đã làm giảm tốc độ hô hấp của trái táo trong suốt quá trình tồn trữ khi so sánh với mẫu đối chứng. Bên cạnh đó, nghiên cứu ảnh hưởng của sóng siêu âm trên trái dâu tây cũng cho kết quả tương tự là sóng siêu âm ở mức độ xử lý phù hợp có tác động làm giảm tốc độ hô hấp khi so với mẫu đối chứng [8].

Màu sắc là một trong những chỉ tiêu được dùng để đánh giá trạng thái sức khỏe của rau quả và sự

chấp nhận của người tiêu dùng. Các kết quả thể hiện ở hình 1B, có thể thấy không có sự khác biệt màu sắc giữa các nghiệm thức sau khi xử lý sóng siêu âm (ngày 0) và giai đoạn cuối của quá trình tồn trữ (ngày 9 đến 12). Tuy nhiên, từ ngày 3 đến 6 có thể thấy sóng siêu âm đã làm chậm sự thay đổi màu sắc so với nghiệm thức đối chứng. Các kết quả nghiên cứu trên rau diếp, ớt chuông xanh và quả bí cho thấy sóng

siêu âm có tác dụng làm chậm sự thay đổi màu xanh trong suốt quá trình tồn trữ [20]. Ngoài ra, nghiên cứu trên cải thìa (bok choy) cũng cho kết quả tương tự [21]. Sự thay đổi màu này có liên quan đến hàm lượng của chlorophyll của quả. Điều này có thể thấy, sóng siêu âm có tác dụng làm chậm sự phân hủy của hàm lượng chlorophyll trong quá trình tồn trữ (Hình 2A).



Hình 1. Ảnh hưởng của sóng siêu âm đến sự thay đổi sinh lý của đậu bắp sau thu hoạch

Ghi chú: Các ký tự từ a-c thể hiện sự khác biệt ý nghĩa giữa các nghiệm thức xử lý sóng siêu âm. Phân tích ANOVA ở mức ý nghĩa 0,05 và kiểm định LSD.

Trong quá trình bảo quản rau quả, tổn thất khối lượng là một yếu tố quan trọng cần được quan tâm do liên quan đến vấn đề kinh tế, chất lượng dinh dưỡng và giá trị cảm quan. Sự tổn thất khối lượng của đậu bắp được thể hiện ở hình 1C, các kết quả cho thấy nghiệm thức xử lý sóng siêu âm 58 kHz-1,5 phút không có khác biệt ý nghĩa so với nghiệm thức đối chứng, 58 kHz-2,0 phút nhưng thấp hơn nghiệm thức 132 kHz-1,5 phút ở ngày thứ 3. Từ ngày 6 đến 12, tổn thất khối lượng của mẫu được xử lý sóng siêu âm ở tần số 58 kHz trong 1,5 phút có giá trị thấp nhất và khác biệt ý nghĩa so với các nghiệm thức đối chứng,

58 kHz-2,0 phút và 132 kHz-1,5 phút. Tuy nhiên, nghiệm thức 132 kHz-1,5 phút có xu hướng gây ra sự tổn thất khối lượng cao hơn nghiệm thức đối chứng trong suốt thời gian tồn trữ. Sự tổn thất khối lượng của mẫu có sự liên quan rất lớn đến sự hô hấp của đậu bắp trong suốt quá trình tồn trữ, do sóng siêu âm có tác dụng làm giảm sự hô hấp trong quá trình tồn trữ khi so sánh với nghiệm thức đối chứng (Hình 1A). Sự tổn thất khối lượng cao của mẫu xử lý 132 kHz-1,5 phút cho thấy việc xử lý sóng siêu âm với tần số không phù hợp dẫn đến sự kích thích các thành tố trong tế bào thực vật, trong đó có các enzyme thúc

đẩy sự chuyển hóa và trao đổi chất. Sự chuyển hóa và trao đổi chất nhanh dẫn đến sự tiêu hao chất khô cũng như thành phần dinh dưỡng có trong nguyên liệu và sự mất nước làm tổn thất khối lượng nguyên liệu trong quá trình bảo quản. Tuy nhiên, sự chống chịu của tế bào thực vật đối với sóng siêu âm là khác nhau đối với tần số, công suất cũng như là thời gian xử lý sóng. Do vậy, chế độ xử lý cần phải phù hợp với sức chống chịu của tế bào thực vật. Trong nghiên cứu này, có thể chế độ xử lý 58 kHz-1,5 phút là phù hợp với trái đậu bắp. Nếu năng lượng sóng cao hơn có thể sẽ làm cho tế bào của đậu bắp bị tổn thương và hư hỏng có thể sẽ diễn ra nhanh hơn. Điều này có thể sẽ được thực hiện ở các nghiên cứu sau.

Độ cứng là một chỉ tiêu quan trọng được dùng để đánh giá sự già hóa của đậu bắp sau thu hoạch và trong suốt quá trình tồn trữ. Trong nghiên cứu này, độ cứng của đậu bắp được đánh giá thông qua lực cắt và thể hiện ở hình 1D, trong 3 ngày đầu của giai đoạn tồn trữ không có sự khác biệt về độ cứng của các nghiệm thức được quan sát. Từ ngày 6 đến 12 có thể thấy đậu bắp được xử lý ở mức 58 kHz-1,5 phút có độ cứng thấp nhất và có khác biệt ý nghĩa khi so sánh với nghiệm thức đối chứng. Các nghiệm thức 132 kHz-1,5 phút và 58 kHz-2,0 phút không có sự khác biệt khi so sánh với nghiệm thức đối chứng. Nghiên cứu trước cho thấy, độ cứng của đậu bắp sau thu hoạch sẽ tăng lên trong suốt quá trình tồn trữ [4]. Độ cứng sau thu hoạch của đậu bắp tăng là do quá trình hô hấp mạnh, thúc đẩy quá trình tổng hợp các hợp chất lignin hay cellulose trong thành tế bào [22]. Kết quả của nghiên cứu này cho thấy, sóng siêu âm có tác dụng làm giảm tốc độ hô hấp (Hình 1A), do đó có thể đã làm giảm hàm lượng lignin và cellulose có trong tế bào. Từ đó cho thấy, sóng siêu âm có tiềm năng trong việc làm chậm sự già hóa của trái đậu bắp sau thu hoạch.

3.2. Ảnh hưởng của sóng siêu âm đến hoạt tính chống oxy hóa

Hàm lượng chlorophyll của đậu bắp có xu hướng dao động trong suốt quá trình tồn trữ ở tất cả các nghiệm thức. Có thể thấy, sóng siêu âm có ảnh hưởng đến hàm lượng chlorophyll của đậu bắp. Cụ thể, nghiệm thức 58 kHz-1,5 phút cho thấy hàm lượng chlorophyll duy trì ở mức cao hơn nghiệm thức đối chứng ở ngày 3 và 9. Tuy nhiên, ở ngày 6 và 12 không có sự khác biệt ý nghĩa thống kê. Hàm lượng chlorophyll của đậu bắp ở các nghiệm thức 132 kHz-

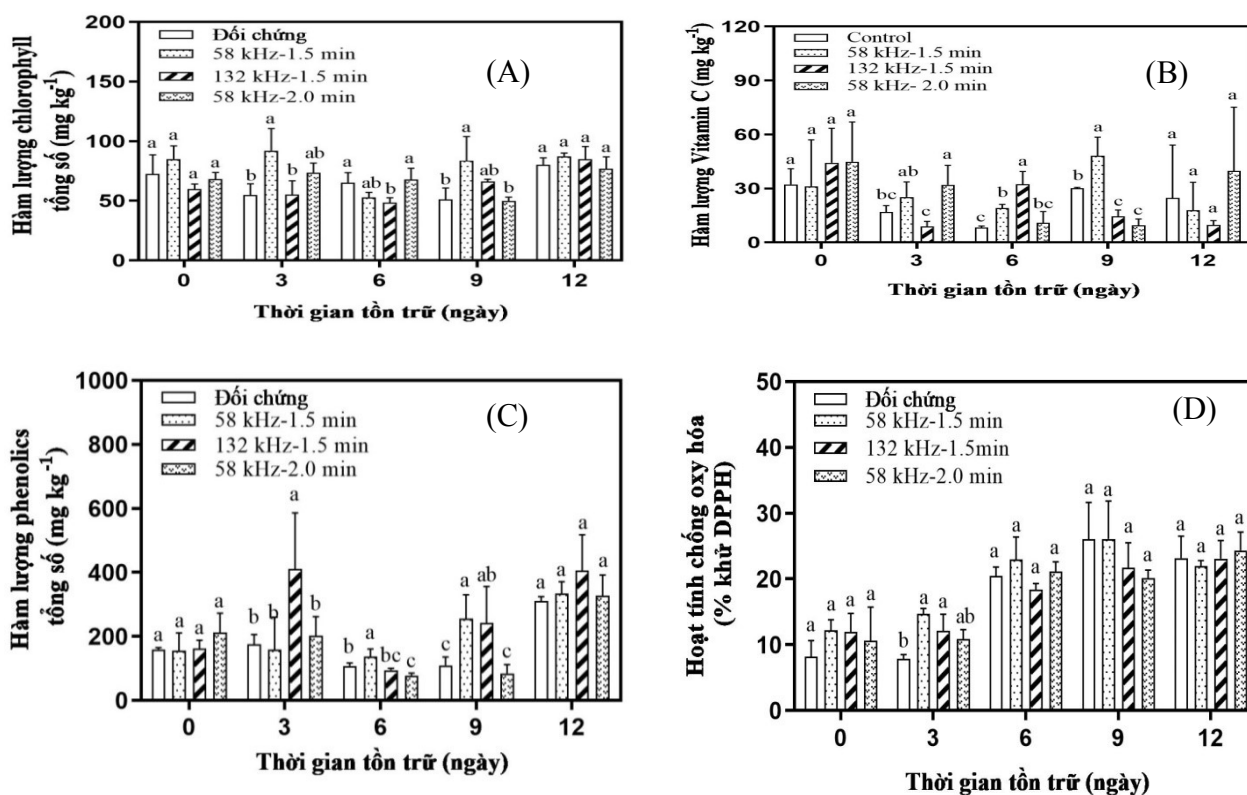
1,5 phút và 58 kHz-2,0 phút không có khác biệt khi so với nghiệm thức đối chứng (Hình 2A). Sự suy giảm hàm lượng chlorophyll của đậu bắp sau thu hoạch được quy định bởi các gen liên quan đến sự phân hủy của chlorophyll như *AeNYC*, *AeNOL*, *AeSGR*, *AePAO*, *AeCLH*, *AeRCCR*, *AePPH* và *AeHCAR* trong tế bào [23]. Nghiên cứu cho thấy, hàm lượng chlorophyll của trái đậu bắp thấp khi tốc độ hô hấp cao. Sự hô hấp mạnh sau thu hoạch sẽ thúc đẩy nhanh quá trình mất màu chlorophyll, già hóa và hư hỏng [3]. Nghiên cứu này cho thấy, sóng siêu âm có tác dụng duy trì hàm lượng chlorophyll của đậu bắp sau thu hoạch có thể do sóng siêu âm đã có tác động giảm sự biểu hiện của các gen liên quan đến sự phá hủy chlorophyll hoặc làm giảm tốc độ hô hấp trong quá trình tồn trữ.

Vitamin C là một thành phần có hoạt tính sinh học quan trọng trong đậu bắp. Hàm lượng vitamin C của đậu bắp thể hiện ở hình 2B. Các kết quả cho thấy, sóng siêu âm đã duy trì được hàm lượng vitamin C ở mức cao khi so với đối chứng từ ngày 3 đến 9. Trong khi đó không có sự khác biệt ở ngày 0 và 12 trong quá trình tồn trữ. Nghiệm thức 58 kHz-1,5 phút cho thấy có hiệu quả nhất trong việc giảm sự mất mát của hàm lượng vitamin C của đậu bắp. Điều này xảy ra có thể là do khi xử lý siêu âm với tần số và thời gian không phù hợp làm một số tế bào bị tổn thương và kích thích các enzyme hoạt động, trong đó có ascorbinase gây phân giải vitamin C. Các nghiên cứu trước đây cho thấy, xử lý sóng siêu âm ở chế độ phù hợp (33 kHz, 60 W, 30-40 phút) có thể duy trì hàm lượng vitamin C ở mức cao hơn so với đối chứng trên trái dâu tây sau thu hoạch [9]. Nghiên cứu khác cho thấy, xử lý sóng siêu âm trên dâu tây ở tần số 40 hoặc 59 kHz, 10 phút ở công suất 350 W đã duy trì được vitamin C cao hơn mẫu đối chứng [10].

Kết quả của phân tích hàm lượng phenolics của đậu bắp được thể hiện ở hình 2C, kết quả cho thấy hàm lượng phenolics có sự ảnh hưởng bởi sóng siêu âm từ ngày 3 đến 9, nghiệm thức 58 kHz-1,5 phút và 132 kHz-1,5 phút có hàm lượng phenolics cao hơn khi so với mẫu đối chứng trong khi nghiệm thức 58 kHz-2,0 phút không có sự khác biệt khi so với mẫu đối chứng. Ở các ngày 0 và 12 thì sóng siêu âm không có ảnh hưởng đến hàm lượng phenolics. Trong tế bào thực vật, các hợp chất phenolics tồn tại

dạng hòa tan trong không bào và dạng không hòa tan khi liên kết với chất xơ bên ngoài không bào của tế bào thực vật [24]. Kết quả này có thể do sóng siêu âm có tác dụng phá vỡ sự liên kết giữa các hợp chất phenolics với chất xơ trong tế bào từ đó giải phóng các hợp chất phenolics tự do hoặc sóng siêu âm đã thúc đẩy quá trình tổng hợp của các hợp chất phenolics. Yu và cs (2016) [25] báo cáo rằng khi xử lý sóng siêu âm (25 kHz, 3 phút) trên rau diếp đã làm tăng hoạt tính của enzyme phenylalanine ammonia lyase (một enzyme chìa khóa cho quá trình tổng hợp phenolics), kết quả tăng hàm lượng phenolics. Tương tự, ớt chuông xanh và rau diếp khi được xử lý với sóng siêu âm (40 kHz, 250 W, 20 phút) giúp duy trì hàm lượng phenolics ở mức cao khi so với mẫu đối chứng [20].

Kết quả hoạt tính chống oxy hóa của đậu bắp (% khử DPPH) thể hiện qua hình 2D. Từ kết quả phân tích cho thấy không có sự khác biệt giữa các nghiệm thức trong suốt quá trình tồn trữ, ngoại trừ ngày 3. Ở ngày 3, nghiệm thức 58 kHz-1,5 phút và 132 kHz-1,5 phút có hoạt tính chống oxy hóa cao nhất tiếp đến nghiệm thức 58 kHz-2,0 phút và nghiệm thức đối chứng. Kết quả này do sóng siêu âm đã duy trì được hàm lượng của các hợp chất có hoạt tính chống oxy hóa ở mức cao như chlorophyll, vitamin C và phenolics (Hình 2A-C). Gani và cs (2016) [9] báo cáo rằng sóng siêu âm (33 kHz, 60 W, 30-40 phút) có tác dụng tăng hoạt tính chống oxy hóa của dầu tây (% khử DPPH) cao hơn so với đối chứng trong suốt thời gian tồn trữ. Các kết quả trên cho thấy, sóng siêu âm có tiềm năng duy trì các hợp chất có hoạt tính chống oxy hóa ở mức cao hơn so với mẫu đối chứng.



Hình 2. Ảnh hưởng của sóng siêu âm đến hoạt tính chống oxy hóa của trái đậu bắp sau thu hoạch

Ghi chú: Các ký tự từ a-c thể hiện sự khác biệt ý nghĩa giữa các nghiệm thức xử lý sóng siêu âm. Phân tích ANOVA ở mức ý nghĩa 0,05 và kiểm định LSD.

4. KẾT LUẬN

Qua quá trình thí nghiệm và số liệu phân tích về ảnh hưởng của sóng siêu âm đến sự thay đổi sinh lý và hoạt tính chống oxy hóa của trái đậu bắp sau thu hoạch. Các kết quả cho thấy việc xử lý trái đậu bắp ở

tần số 58 kHz trong thời gian 1,5 phút đã làm giảm sự thay đổi sinh lý như giảm tốc độ hô hấp, làm chậm sự thay đổi màu sắc, giảm sự già hóa và tổn thất khối lượng so với đối chứng. Bên cạnh đó, sóng siêu âm ở tần số 58 kHz trong thời gian 1,5 phút còn duy trì hàm lượng của các hợp chất chống oxy hóa như

chlorophyll, vitamin C và phenolic ở mức cao hơn so với mẫu đối chứng trong quá trình tồn trữ. Các kết quả trên gợi ý rằng, sóng siêu âm có tiềm năng trong việc duy trì chất lượng và có thể kéo dài thời gian tồn trữ của đậu bắp sau thu hoạch.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Liu, Y., Qi, J., Luo, J., Qin, W., Luo, Q., Zhang, Q., Wu, D., Lin, D., Li, S., Dong, H., Chen, D., Chen, H. (2019). Okra in food field: Nutritional value, health benefits and effects of processing methods on quality. *Food Reviews International* 37, 1-24.
2. Gemed, H. F., Ratta, N., Haki, G. D., Beyene, A. Z. W. F. (2014). Nutritional quality and health benefits of okra (*Abelmoschus Esculentus*). *Global Journal of Medical Research: K Interdisciplinary* 14(5), 1-11.
3. Huang, S., Li, T., Jiang, G., Xie, W., Chang, S., Jiang, Y., Duan, X. (2012). 1-Methylcyclopropene reduces chilling injury of harvested okra (*Hibiscus esculentus* L.) pods. *Scientia Horticulturae*. (Amsterdam) 141, 42-46.
4. Gundewadi, G., Rudra, S. G., Sarkar, D. J., Singh, D. (2018). Nanoemulsion based alginate organic coating for shelf life extension of okra. *Food Packaging and Shelf Life* 18, 1-12.
5. Phornvillaya, S., Pongpraserta, N., Wongs-Areea, C., Uthairatanakija, A., Srilaong, V. (2019). Exogenous putrescine treatment delays chilling injury in okra pod (*Abelmoschus esculentus*) stored at low storage temperature. *Scientia Horticulturae*, 256, 108550.
6. Kanwal, R., Ashraf, H., Sultan, M., Babu, I., Yasmin, Z., Nadeem, M., Asghar, M., Shamshiri, R. R., Ibrahim, S. M., Ahmad, N., Imran, M. A., Zhou, Y., Ahmad, R. (2020). Effect of 1-Methyl cyclopropane and modified atmosphere packaging on the storage of okra (*Abelmoschus esculentus* L.): Theory and Experiments. *Sustainability* 12(18):7547.
7. José, J. F. B. D. F., Andrade, N. J. D., Ramos, A. M., Vanetti, M. C. D., Stringheta, P. C., Chaves, J. B. P. (2014). Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables. *Food Control* 45, 36-50.
8. Aday, M. S, Temizkan, R., Burak, M., Caner, C. (2013). An innovative technique for extending shelf life of strawberry: Ultrasound. *LWT - Food Science and Technology* 52, 93-101.
9. Gani, A., Baba, W. N., Ahmad, M., Shah, U., Khan, A. A., Wani, I. A., Masoodi, F. A., Gani, Asir (2016). Effect of ultrasound treatment on physico-chemical, nutraceutical and microbial quality of strawberry. *LWT-Food Science Technology* 66, 496-502.
10. Cao, S., Hu, Z., Pang, B., Wang, H., Xie, H., Wu, F. (2010). Effect of ultrasound treatment on fruit decay and quality maintenance in strawberry after harvest. *Food Control* 21, 529-532.
11. Lu, C., Ding, J., Park, H. K., Feng, H. (2020). High intensity ultrasound as a physical elicitor affects secondary metabolites and antioxidant capacity of tomato fruits. *Food Control* 113, 107176.
12. Pinheiro, J., Alegria, C., Abreu, M., Gonçalves, E. M., Silva, C. L. M. (2015). Influence of postharvest ultrasounds treatments on tomato (*Solanum lycopersicum*, cv. Zinac) quality and microbial load during storage. *Ultrasonics Sonochemistry* 27, 552-559.
13. Xu, F., Liu, S., Xiao, Z., Fu, L. (2019). Effect of ultrasonic treatment combined with 1-methylcyclopropene (1-MCP) on storage quality and ethylene receptors gene expression in harvested apple fruit. *Journal of Food Biochemistry* 00, 1-7.
14. Vivek, K., Mishra, S., Sasikumar, R. (2017). Effect of ultra-sonication on postharvest quality parameters and microbial load on *Docynia indica*. *Scientia Horticulturae* 225, 163-170.
15. Raudiene, E., Rusinskas, D., Balciunas, G., Juodeikiene, G., Gailius, D. (2017). Carbon dioxide respiration rates in wheat at various temperatures and moisture contents. *Journal of Metrology Society of India* 32, 51-58.
16. Li, X., Li, M., Wang, L., Wang, J., Jin, P., Zheng, Y. (2018). Methyl jasmonate primes defense responses against wounding stress and enhances phenolic accumulation in fresh-cut pitaya fruit. *Postharvest Biology and Technology* 145, 101-107.
17. Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Ravent, R. M. (1998). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods Enzymology*. 299, 152-178.

18. Nguyen, T. T., Uthairatanakij, A., Srilaong, V., Laohakunjit, N., Kato, M. (2021). Impact of electron beam irradiation on the chlorophyll degradation and antioxidant capacity of mango fruit. *Apply Biology Chemistry* 64(1), 1-12.
19. Moran, R. (1982). Formulae for determination of chlorophyllous pigments extracted with N,N -Dimethylformamide. *Plant Physiology* 69, 1376-1381.
20. Lafarga, T., Rodríguez-Roque, M. J., Bobo, G., Villaró, S., Aguiló-Aguayo, I. (2019). Effect of ultrasound processing on the bioaccessibility of phenolic compounds and antioxidant capacity of selected vegetables. *Food Science Biotechnology* 28, 1713-1721.
21. Wu, W., Gao, H., Chen, H., Fang, X., Han, Q., Zhong, Q. (2019). Combined effects of aqueous chlorine dioxide and ultrasonic treatments on shelf-life and nutritional quality of bok choy (*Brassica chinensis*). *LWT- Food Science and Technology* 101, 757-763.
22. Sun, M., Yang, X. L., Zhu, Z. P., Xu, Q. Y., Wu, K. X., Kang, Y. J., Wang, H., Xiong, A. S. (2021). Comparative transcriptome analysis provides insight into nitric oxide suppressing lignin accumulation of postharvest okra (*Abelmoschus esculentus* L.) during cold storage. *Plant Physiology and Biochemistry* 167, 49-67.
23. Xiao, X., Yang, M., Dong, W., Chou, C., Shi, L., Chen, W., Cao, S., Yang, Z., Li, S. (2022). Gibberellic acid inhibited chlorophyll degradation in post-harvest okras. *Postharvest Biology and Technology* 190, 111951.
24. Shahidi, F., Yeo, J. D. (2016). Insoluble-bound phenolics in food. *Molecules* 21(9), 1216.
25. Yu, J., Engeseth, N.J., Feng, H. (2016). High Intensity ultrasound as an abiotic elicitor - Effects on antioxidant capacity and overall quality of romaine Lettuce. *Food Bioprocess Technology* 9, 262-273.

EFFECT OF ULTRASOUND ON THE PHYSIOLOGICAL CHANGES AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF HARVESTED OKRA (*Hibiscus esculentus* L.) PODS

Nguyen Trung Truc, Lam Hoa Hung, Huynh Thi Phuong Thao,

Cao Tan Pul, On Tieu Phuong

Summary

The aim of this study was to investigate the effect of ultrasound on the physiological changes and antioxidant capacity of okra pods. The okra pods were treated with ultrasound at 58 kHz-1.5 min, 132 kHz-1.5 min, 58 kHz-2.0 min and non-treated ultrasound treatment served as the control. These results showed that ultrasound treatment at 58 kHz-1.5 min could reduce respiration rate and weight loss and delay the increase of firmness and color changes in comparison with control, 132 kHz-1.5 min and 58 kHz-2.0 min treatment. The ultrasound treatment at 58 kHz-1.5 min significantly remained the content of chlorophyll, vitamin C and phenolic compounds and antioxidant capacity (%DPPH inhibition) in compared to further treatments during storage. These results suggested that ultrasound may be potential treatment to extend the shelf-life and remain the antioxidant capacity in okra pods.

Keywords: *Ultrasound, okra pods, Hibiscus esculentus L., antioxidant capacity, quality.*

Người phản biện: PGS.TS. Lê Anh Đức

Ngày nhận bài: 29/9/2022

Ngày thông qua phản biện: 26/10/2022

Ngày duyệt đăng: 23/11/2022