

ẢNH HƯỞNG CỦA XỬ LÝ SODIUM NITROPRUSSIDE (SNP) VÀ CALCIUM CHLORIDE (CaCl₂) NHẪM LÀM CHẬM QUÁ TRÌNH MỀM VÀ KÉO DÀI THỜI GIAN BẢO QUẢN QUẢ BƠ BOOTH7 (*Persea americana Mill.*) SAU THU HOẠCH

Trần Thị Kim Nhi, Nguyễn Thị Vân Anh, Tông Thị Quỳnh Anh,
Nguyễn Thị Diễm Hương, Nguyễn Văn Toàn*

Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế

*Tác giả liên hệ: nguyenvantoan@huaf.edu.vn

Nhận bài: 15/05/2023 Hoàn thành phản biện: 27/06/2023 Chấp nhận bài: 30/06/2023

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện để phát triển một phương pháp ức chế ethylene, làm chậm quá trình làm mềm quả bằng xử lý sodium nitroprusside (SNP) và calcium chloride (CaCl₂) để cải thiện chất lượng và kéo dài thời gian bảo quản quả bơ Booth7 (*Persea americana Mill.*). Quả bơ sau thu hoạch được ngâm trong dung dịch sodium nitroprusside (SNP) một chất giải phóng oxit nitric (NO) với SNP 1,5 mM kết hợp CaCl₂ 6% trong thời gian 15 phút. Mẫu đối chứng (ĐC) xử lý nước trong cùng thời gian. Quả bơ được theo dõi trong 40 ngày bảo quản ở nhiệt độ (8±1°C); độ ẩm (RH=90±5%) và được phân tích 5 ngày một lần. Kết quả cho thấy rằng; xử lý SNP và CaCl₂ đã ngăn chặn hiệu quả sự thay đổi tỷ lệ hư hỏng và giảm khối lượng của quả bơ trong quá trình bảo quản. Độ cứng, hoạt lực phenolic (TPC); hoạt lực polyphenol oxydase (PPO); hoạt lực enzyme polygalacturonase (PG) và pectin methyl esterase (PME) cũng được duy trì đáng kể trong quá trình bảo quản trong nhóm được xử lý kết hợp (SNP và CaCl₂). Ứng dụng xử lý sodium nitroprusside (SNP) và calcium chloride (CaCl₂) là một phương pháp dễ dàng thực hiện và hiệu quả cao để giảm sự mềm hóa của quả cũng như kéo dài thời gian bảo quản bơ Booth7 đến 35 ngày bảo quản.

Từ khóa: Bảo quản, Calcium chloride, Oxit nitric, Sodium nitroprusside, Quả bơ Booth7

EFFECTS OF SODIUM NITROPRUSSIDE (SNP) TREATMENT COMBINED AND CALCIUM CHLORIDE (CaCl₂) ON SLOWING RIPENING PROCESS AND SHELF LIFE EXTENSION OF BOOTH7 AVOCADO (*Persea americana Mill.*) AFTER HARVEST

Tran Thi Kim Nhi, Nguyen Thi Van Anh, Tong Thi Quynh Anh,
Nguyen Thi Diem Huong, Nguyen Van Toan*

University of Agriculture and Forestry, Hue University

ABSTRACT

A study was conducted to develop a method for inhibiting ethylene and slowing down the softening process of Booth7 avocados (*Persea americana Mill.*) during storage. The method involved treating the avocados with sodium nitroprusside (SNP) and calcium chloride (CaCl₂) to improve their quality and extend their shelf life. After harvesting, the avocados were soaked in a solution of 1.5 mM SNP (a nitric oxide-releasing agent) combined with 6% CaCl₂ for 15 minutes. Control samples were treated with water for the same duration. The avocados were monitored for a 40-day storage period at a temperature of 8±1°C and a humidity of 90±5%, with analyses conducted every 5 days. The results showed that the treatment with SNP and CaCl₂ effectively prevented changes in the rate of deterioration and reduced the weight loss of the avocados during storage. Hardness, total phenolic content (TPC), polyphenol oxidase (PPO) activity, polygalacturonase (PG), and pectin methyl esterase (PME) activities were also significantly maintained during storage in the treated group (SNP and CaCl₂). The application of sodium nitroprusside (SNP) and calcium chloride (CaCl₂) treatment is an easily implementable and highly effective method for reducing the softening of the avocados and extending the storage time of Booth7 avocados for up to 35 days.

Keywords: Preservation, Calcium chloride, Nitric oxide, Sodium nitroprusside, Booth7 avocado

1. MỞ ĐẦU

Quả bơ Booth7 có các thành phần dinh dưỡng cao trong quả, như acid oleic, linoleic, palmitic và palmitoleic; vitamin A, B, C, E, K và các khoáng chất, kali, photpho, magiê và sắt (Pedreschi và cs., 2019). Hơn nữa, quá trình hô hấp liên tục của bơ sau khi thu hoạch là nguyên nhân dẫn đến quả bơ bị mềm và giảm chất lượng trong thời gian bảo quản (Fuentealba và cs., 2022). Quá trình lão hóa và chín ở trái cây xảy ra bởi ethylene và có thể trì hoãn bằng cách sử dụng các chất ức chế sinh tổng hợp và hoạt động của ethylene. Sodium nitroprusside (SNP) là chất giải phóng oxit nitric (NO) trong dung dịch nước (Zhang và cs., 2022). Oxit nitric (NO) một chất ức chế sinh tổng hợp ethylene, ngăn chặn quá trình tổng hợp ethylene thông qua ức chế hoạt động của enzyme 1-aminocyclopropane 1-carboxylic acid (ACC), synthase (ACS), một enzyme chủ chốt trong con đường sinh tổng hợp ethylene (Steffens và cs., 2021). Bên cạnh đó, hoạt lực của các enzyme thủy phân thành tế bào là nguyên nhân làm mềm quả có thể bắt đầu từ quá trình sản sinh ethylene. Hoạt lực polyphenoloxidase nội sinh (PPO) cùng với sự có mặt của oxy xúc tác hai phản ứng khác nhau: hydroxyl hóa monophenol thành odiphenol (hoạt lực monophenolase) và oxy hóa o-diphenol thành oquinone (hoạt lực diphenolase), do đó được polyme hóa sang sắc tố hoá nâu quả. Hoạt lực của các enzyme PPO dẫn đến sự phân hủy các hợp chất phenolic (TPC). Hoạt lực của enzyme polygalacturonase (PG), pectin methyl esterase (PME) rất quan trọng đối với quá trình thủy phân thành tế bào trong quá trình làm mềm sau thu hoạch (Fuentealba và cs., 2022).

Các ứng dụng xử lý canxi sau thu hoạch đã được sử dụng để kéo dài thời hạn bảo quản của rau quả sau thu hoạch. Ngâm canxi sau thu hoạch làm tăng đáng kể hàm

lượng canxi không gây hư hỏng trái cây tùy thuộc vào nồng độ Ca^{2+} (Fenet, 2021). Xử lý bề mặt làm chậm quá trình thối rữa trong mô quả, ổn định bề mặt trái cây. Xử lý $CaCl_2$ sau thu hoạch có thể làm chậm quá trình lão hóa của quả mà không ảnh hưởng xấu đến chất lượng (Naveena và Immanuel, 2017). Canxi được sử dụng ngoại sinh giúp ổn định thành tế bào thực vật và bảo vệ khỏi các enzyme phân hủy thành tế bào. Sự có mặt của ion Ca^{2+} làm tăng tính liên kết của thành tế bào. Ion canxi (Ca^{2+}) là chất dinh dưỡng thiết yếu cho rau quả, đóng vai trò quan trọng trong việc xây dựng cấu trúc thành tế bào và màng tế bào. Hơn nữa, Ca^{2+} cũng là yếu tố quan trọng trong trình sinh lý và phản ứng với các điều kiện căng thẳng khác nhau (Fenet, 2021). Bên cạnh đó, các muối Ca^{2+} thể hiện một vai trò trong việc duy trì tính toàn vẹn của thành tế bào trong quả bằng cách tương tác với acid pectic để tạo thành canxi pectate tạo điều kiện cho liên kết ngang của các hợp chất pectic của thành tế bào. Quả được xử lý bằng $CaCl_2$ duy trì hàm lượng protopectin cao hơn và hàm lượng pectin hòa tan thấp hơn (Lv và cs., 2020). Xử lý $CaCl_2$ làm giảm hoạt động của enzyme polygalacturonase (PG), pectin methylesterase (PME) ở giai đoạn đầu của quá trình làm mềm (Lv và cs., 2020). Xử lý $CaCl_2$ đã tăng cường khả năng chịu lạnh thông qua điều hòa chuyển hóa năng lượng và tích lũy các chất thẩm thấu ở quả táo (Fenet, 2021), quả ớt xanh (Zhang và cs., 2021). Kết quả cho thấy xử lý kết hợp SNP và $CaCl_2$ đã duy trì chất lượng và kéo dài thời gian bảo quản được nghiên cứu trên một số loại quả ở các điều kiện bảo quản khác nhau như quả cà chua (Siddiqui và cs., 2017), quả đu đủ (Lata và cs., 2018).

2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

Quả bơ Booth7 được thu hoạch ở 240 - 250 (Trần Thị Kim Nhi và cs., 2021) ngày sau khi ra hoa trong cùng một ngày tại vườn bơ thuộc Công ty trách nhiệm hữu hạn Trịnh Mười ở tỉnh Đắk Lắk, Việt Nam. Quả sau khi thu hoạch được đóng trong thùng xốp (500 mm × 400 mm × 400 mm), mỗi lớp quả được lót một lớp xốp mỏng và vận chuyển bằng xe chuyên dụng nhiệt độ ở ($25 \pm 3^\circ\text{C}$) và độ ẩm tương đối ($\text{RH} = 70 - 80\%$) về phòng thí nghiệm của Khoa Cơ khí và Công nghệ, Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế. Sodium nitroprusside (SNP - $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}].2\text{H}_2\text{O}$) được cung cấp bởi HIMEDIA Co., Ấn Độ (trọng lượng phân tử : 297,95 g/mol), độ tinh khiết 99%, mua tại Công ty trách nhiệm hữu hạn Hoá chất công nghiệp Thịnh Phát, Việt Nam. Muối Calcium chloride (CaCl_2): tên thương mại là Canxi clorua loại dùng cho thực phẩm, có độ tinh khiết 75%, do Trung Quốc sản xuất, được cung cấp bởi Công ty trách nhiệm hữu hạn Thực phẩm Á Châu, Việt Nam.

2.2. Phương pháp bố trí thí nghiệm

Quả bơ được lựa chọn đồng nhất về hình dạng, kích thước và màu sắc, đồng thời, không có bệnh tật hoặc chấn thương cơ học và được chia ngẫu nhiên thành 4 nhóm chính, mỗi nhóm 3 lần lặp lại, chứa 64 quả bơ tươi trong mỗi nhóm thí nghiệm. Quả được rửa sạch và khử khuẩn bằng (NaOCl) nồng độ 150 ppm, sau đó rửa lại bằng nước và để khô trong 30 phút (Russo và cs., 2013). Thí nghiệm gồm 4 nghiệm thức: quả bơ đối chứng ngâm trong nước; quả bơ xử lý ngâm trong dung dịch SNP 1,5 mM; quả bơ ngâm trong dung dịch CaCl_2 6%; quả bơ ngâm trong dung dịch kết hợp (SNP và CaCl_2) trong cùng thời gian 15 phút. Sau khi xử lý, quả bơ ở các thí nghiệm để khô ráo bề mặt và được bọc màng xốp, sắp xếp vào các thùng giấy có kích thước ($36 \times 21 \times 20 \text{ cm}^3$), chia thành 8 ngăn, đục 12 lỗ với

đường kính 5 cm/lỗ. Sau đó, quả bơ ở tất cả các nhóm thí nghiệm được vận chuyển vào kho lạnh bảo quản ở (nhiệt độ $8 \pm 1^\circ\text{C}$; độ ẩm $\text{RH} = 90 \pm 5\%$). Các chỉ tiêu vật lý và sinh hóa được phân tích 5 ngày/1 lần cho đến 40 ngày bảo quản.

2.3. Phương pháp phân tích

Cường độ hô hấp được xác định theo phương pháp đo kín, sử dụng máy ICA-250 (International Controlled Atmosphere Ltd Instrument Division, Kent, Vương quốc Anh) để xác định hàm lượng CO_2 theo mô tả của (Benkeblia, 2014). Cường độ sản sinh ethylene được xác định ở 25°C bởi máy phân tích ethylene ICA-56 (International Controlled Atmosphere Ltd., Paddock Wood, Vương quốc Anh) theo mô tả của (Nguyen và cs., 2022). Các mẫu được đặt trong một hộp nhựa kín 4 L trong 6 giờ trước khi thực hiện phép đo. Ba quả được đặt trong một hộp cùng một lúc. Phép đo được lặp lại trong ba lần. Hao hụt khối lượng của quả được xác định bằng cân phân tích kỹ thuật số (Ohaus, USA) dựa trên sự khác biệt giữa khối lượng ban đầu (M1) và khối lượng cuối (M2) của quả theo mô tả của (Singh và cs., 2019). Tỷ lệ hư hỏng của quả được xác định bằng cách đo diện tích bề mặt bị hư hỏng của quả theo mô tả của (Kim và cs., 2021). Hoạt lực enzyme polygalacturonase (PG) được xác định dựa trên phương pháp của (Chen và cs., 2017). Hoạt lực của pectin methylesterase (PME) được đo bằng phương pháp đo quang phổ liên tục, theo mô tả của (Gao và cs., 2020). Hoạt lực phenolic (TPC) được xác định bằng phương pháp Folin Ciocalteu theo mô tả của (Blainski và cs., 2013) và hoạt lực polyphenol oxydase (PPO) được xác định theo mô tả của (Vargas-Ortiz và cs., 2017); độ hấp thụ được đo lần lượt ở bước sóng 760 nm và 410 nm bằng máy quang phổ UV-Visible Spectrophotometer (BioMate 160, USA).

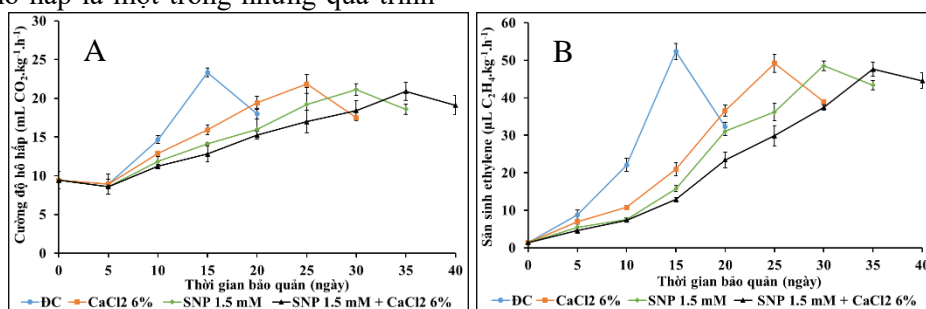
2.4. Phân tích thống kê

Số liệu thực nghiệm được tính giá trị trung bình bằng phần mềm Microsoft Excel 2010 và phân tích thống kê bằng phần mềm SPSS 20 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Mức sai khác có ý nghĩa trung bình được thực hiện bằng kiểm nghiệm LSD (5%).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của xử lý SNP và CaCl₂ đến cường độ hô hấp và cường độ sản sinh ethylene

Trong quá trình bảo quản rau quả tươi, hô hấp là một trong những quá trình



Hình 1. Ảnh hưởng của xử lý SNP và CaCl₂ đến cường độ hô hấp và cường độ sản sinh ethylene

có liên quan đến quá trình chín của rau quả và có tác dụng làm giảm tốc độ thoát hơi nước. Hàm lượng Ca²⁺ cao trong thành tế bào cũng làm giảm hoạt động của các enzyme làm mềm quả (Fenet, 2021). Oxit nitric giải phóng từ SNP liên kết chặt chẽ với hoạt động của enzyme ACC synthase và ACC oxidase, do đó, hạn chế việc sản sinh ethylene trong quả sau thu hoạch. Bên cạnh đó, NO làm giảm quá trình hô hấp của tế bào thông qua sự ức chế cytochrome oxydase (CCO) (Steffens và cs., 2021).

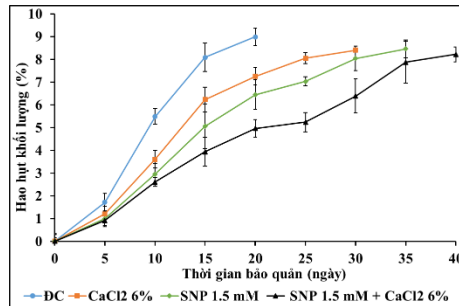
Tốc độ hô hấp và sản sinh ethylene tăng chậm khi xử lý CaCl₂ và SNP trên quả bơ Booth7 sau thu hoạch. Quả bơ đối chứng (ĐC) tăng nhanh về tốc độ hô hấp và sản sinh ethylene so với các mẫu có xử lý (Hình 1). Xử lý CaCl₂ và SNP đơn lẻ cũng làm giảm cường độ hô hấp và sản sinh ethylene quả bơ Booth7 trong quá trình bảo quản. Xử lý kết hợp SNP và CaCl₂ đã có hiệu quả tăng chậm quá trình hô hấp và sản sinh ethylene trong 40 ngày bảo quản. Mẫu đối chứng có hô hấp đạt đỉnh (23,344 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹) và sản sinh ethylene đạt đỉnh (52,328 µL C₂H₄.kg⁻¹.h⁻¹) trong cùng thời gian bảo quản ngày thứ 15. Không có sự khác biệt về cường độ hô hấp và sản sinh ethylene giữa hai mẫu xử lý đơn lẻ CaCl₂ và SNP (p>0,05). Mẫu xử lý kết hợp SNP và CaCl₂ có tốc độ hô hấp và sản xuất ethylene đạt đỉnh chậm hơn vào ngày bảo quản 35 với giá trị lần lượt (20,907 mL CO₂.kg⁻¹.h⁻¹) và (47,622 µL C₂H₄.kg⁻¹.h⁻¹) tương ứng. Canxi

sinh học diễn ra trong quả. Hô hấp bắt đầu ngay sau khi quả được thu hoạch vì mô quả không còn nhận được chất ức chế quá trình chín. Bên cạnh đó, quá trình chín của quả liên quan đến sự sản sinh ethylene. Ethylene là một hormone thực vật điều chỉnh quá trình chín của quả bằng cách điều phối sự tăng cường độ hô hấp, sản sinh ethylene; xúc tác và thay đổi màu sắc, cấu trúc, mùi thơm và hương vị của quả (Fuentealba và cs., 2022). Do đó, cần kiểm soát cường độ hô hấp và ethylene trong quá trình bảo quản quả bơ Booth7.

sinh học diễn ra trong quả. Hô hấp bắt đầu ngay sau khi quả được thu hoạch vì mô quả không còn nhận được chất ức chế quá trình chín. Bên cạnh đó, quá trình chín của quả liên quan đến sự sản sinh ethylene. Ethylene là một hormone thực vật điều chỉnh quá trình chín của quả bằng cách điều phối sự tăng cường độ hô hấp, sản sinh ethylene; xúc tác và thay đổi màu sắc, cấu trúc, mùi thơm và hương vị của quả (Fuentealba và cs., 2022). Do đó, cần kiểm soát cường độ hô hấp và ethylene trong quá trình bảo quản quả bơ Booth7.

3.2. Ảnh hưởng của xử lý SNP và CaCl₂ đến hao hụt khối lượng

Hao hụt khối lượng là sự tổng hợp của nhiều quá trình bao gồm sự mất nước tự nhiên, quá trình trao đổi chất, phân hủy do nấm mốc hay vi sinh vật nếu xảy ra đồng thời sẽ làm khối lượng quả giảm đi rất nhanh (Singh và cs., 2019). Sự biến đổi về khối lượng của quả bơ Booth7 trong quá trình bảo quản được thể hiện ở Hình 2.



Hình 2. Ảnh hưởng của xử lý SNP và CaCl₂ đến hao hụt khối lượng

Độ ẩm của trái cây là một yếu tố quan trọng đối với độ tươi và tính ổn định đối với việc kéo dài thời gian bảo quản. Hao hụt khối lượng ở quả bơ có xu hướng tăng lên ở tất cả các mẫu bảo quản (Hình 2). Sự khác biệt đáng kể ($p < 0,05$) trong hao hụt khối lượng giữa các mẫu bơ được xử lý SNP và mẫu ĐC. Tỷ lệ hao hụt khối lượng ở quả đối chứng 8,985% vào ngày bảo quản 20, cao đáng kể so với quả có xử lý CaCl₂ và SNP trong cùng thời điểm. Tuy nhiên, mẫu xử lý kết hợp SNP và CaCl₂ cho thấy hiệu quả trong việc duy trì sự hao hụt khối lượng của quả bơ, kéo dài 35 ngày bảo quản (7,870%). Canxi clorua (CaCl₂) đóng vai trò là màng bán thấm và tích hợp với thành tế bào, làm chậm quá trình thoát hơi nước và hô hấp ở quả do giảm oxy hóa chất nền nội sinh và thay đổi tính thấm của màng cao hơn; có hiệu quả về mặt chức năng và duy trì tính toàn vẹn của màng tế bào, đây là lý do hao hụt khối lượng thấp hơn được trong quả được xử lý bằng CaCl₂ (Naveena và Immanuel, 2017). Bên cạnh đó, hao hụt

khối lượng của rau quả chủ yếu liên quan đến quá trình hấp thụ và thoát hơi nước (Singh và cs., 2019). Hoạt động trao đổi chất, chủ yếu là hô hấp trong quá trình sau thu hoạch bảo quản dẫn đến hao hụt khối lượng trong quả (Singh và cs., 2019). Hiệu quả của sodium nitroprusside (SNP) chất giải phóng oxit nitric (NO) trong việc duy trì tính toàn vẹn và tính thấm của mô giúp giảm thiểu mất độ ẩm từ quả (Zhang và cs., 2022).

3.3. Ảnh hưởng của xử lý SNP và CaCl₂ đến độ cứng

Trong quá trình bảo quản, độ cứng của quả giảm do mất hoạt tính hydrolase của thành tế bào và áp suất trương nội bào, dẫn đến mềm (Tokala và cs., 2021). Giảm độ cứng là hiện tượng phổ biến trong quá trình bảo quản và vận chuyển sau thu hoạch, có liên quan mật thiết đến quá trình chín và lão hóa của quả.

Bảng 1. Ảnh hưởng của SNP và CaCl₂ đến độ cứng quả và thịt quả bơ Booth7

Công thức	Ngày 0	Ngày 5	Ngày 10	Ngày 15	Ngày 20	Ngày 25	Ngày 30	Ngày 35	Ngày 40
Độ cứng vỏ quả (N)									
Đối chứng	65,12 ^{a*}	30,41 ^b	13,21 ^c	9,42 ^c	6,12 ^c	-	-	-	-
CaCl ₂ 6%	65,07 ^a	58,45 ^a	45,23 ^b	28,65 ^b	14,72 ^b	11,33 ^b	7,51 ^c	7,13 ^c	6,16 ^c
SNP 1,5 mM	65,03 ^a	61,23 ^a	56,63 ^a	47,26 ^a	40,63 ^a	14,01 ^{ab}	10,13 ^b	9,54 ^b	7,21 ^b
SNP+CaCl ₂	66,11 ^a	63,12 ^a	58,45 ^a	55,23 ^a	42,32 ^a	31,26 ^a	14,21 ^a	13,02 ^a	8,85 ^a
Độ cứng thịt quả (N)									
Đối chứng	46,13 ^b	22,03 ^c	5,29 ^d	4,38 ^d	1,53 ^d	-	-	-	-
CaCl ₂ 6%	46,56 ^a	27,99 ^b	17,46 ^c	11,23 ^c	7,19 ^c	5,27 ^c	1,56 ^c	1,42 ^c	1,31 ^c
SNP 1,5 mM	46,48 ^a	36,57 ^a	28,41 ^b	24,12 ^b	13,32 ^b	7,31 ^b	3,42 ^b	2,37 ^b	1,89 ^b
SNP+CaCl ₂	46,78 ^a	38,89 ^a	34,12 ^b	28,46 ^a	16,37 ^a	11,66 ^a	7,52 ^a	3,76 ^a	2,35 ^a

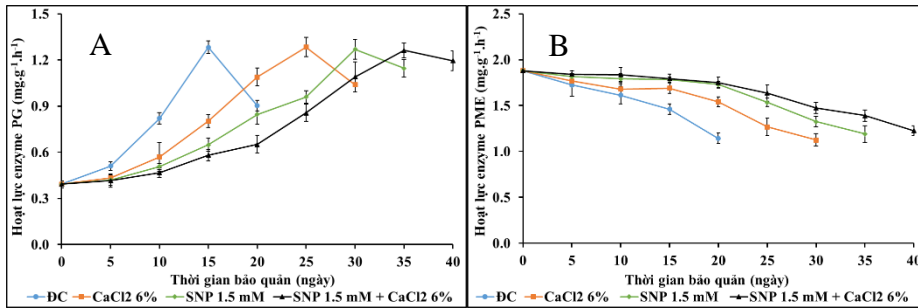
* Trung bình trong cùng một cột, cùng chỉ tiêu độ cứng vỏ quả hay độ cứng thịt quả có chữ cái khác nhau là sai khác có ý nghĩa ở mức 0,05.

Bảng 1 cho thấy, xử lý CaCl₂ và SNP sau thu hoạch cho thấy tác dụng hiệu quả đối với duy trì độ cứng của quả bơ ở tất cả các ngày bảo quản. Trong quá trình bảo quản, độ cứng tối đa ở mẫu xử lý kết hợp CaCl₂ và SNP có khác biệt về mặt thống kê so với các mẫu riêng biệt SNP; CaCl₂ và đối chứng (không xử lý). Mặt khác, độ cứng tối thiểu ở mẫu đối chứng về vỏ và thịt quả đạt giá trị (6,12 N và 1,53 N) vào ngày bảo quản 20. Mẫu xử lý kết hợp 1,5 mM SNP và 6% CaCl₂ duy trì độ cứng đạt giá trị cao vào ngày bảo quản thứ 40 với giá trị độ cứng vỏ và thịt quả đạt lần lượt (8,85 N và 2,35 N). Duy trì độ cứng của quả được xử lý bằng CaCl₂ là do sự tích tụ của Ca²⁺ trong thành tế bào dẫn đến tạo điều kiện thuận lợi cho liên kết chéo của các polyme pectic làm tăng độ cứng của thành tế bào (Fenet, 2021). Ngoài ra, duy trì độ cứng của các mẫu canxi clorua là do canxi đóng vai trò quan trọng trong duy trì cấu trúc thành tế bào bằng cách tương tác với pectin. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây trên các đối tượng rau quả khác nhau như quả chanh (Naveena và Immanuel, 2017); quả táo (Fenet, 2021). Thành tế bào quả bơ là có cấu trúc phức tạp là polysaccharid, chủ yếu bao gồm pectin, hemi cellulose và cellulose

(Fuentelba và cs., 2022). Quá trình depolyme hóa pectin và hemiaellulose đóng một vai trò quan trọng trong quá trình chín của rau quả, dẫn đến sự phân tách mạng lưới cellulose và hemicellulose và làm giảm độ cứng của quả. Độ cứng của quả giảm do mất hoạt tính hydrolase của thành tế bào và áp suất trương nội bào, dẫn đến mềm quả (Tokala và cs., 2021). Bên cạnh đó, xử lý SNP có tác dụng làm trì hoãn hoạt động làm mềm quả bởi làm chậm hoạt lực của các enzyme pectin methyl esterase (PME) và polygalacturonase (PG). Kết quả này phù hợp với các công bố trên các đối tượng như quả sơ ri (Aghdam và cs., 2019); quả chôm chôm (Zhang và cs., 2022).

3.4. Ảnh hưởng của xử lý SNP và CaCl₂ đến hoạt lực enzyme polygalacturonase (PG) và pectin methylesterase (PME)

Quả bị mềm chủ yếu là do phân hủy cấu trúc thành tế bào và các thành phần khác: pectin, hemicellulose và cellulose, được khử phân giải bởi hoạt lực của enzyme hydrolase trong thành tế bào (Fuentelba cs., 2022). Hoạt lực của enzyme pectin methyl esterase (PME) xúc tác quá trình khử polyme hóa một phần polysaccharide (PG) của thành tế bào trong quả bơ, làm quả mềm (Russo và cs., 2013).



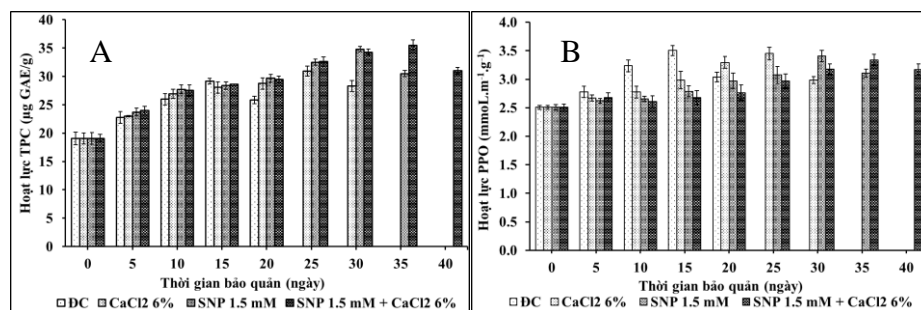
Hình 3. Ảnh hưởng của xử lý SNP và CaCl₂ đến hoạt lực enzyme polygalacturonase (PG) và pectin methyl esterase (PME)

Hình 3 cho thấy hoạt lực của enzyme polygalacturonase (PG) ở tất cả các mẫu tăng trong quá trình bảo quản. Hoạt lực enzyme PG của mẫu ĐC tăng nhanh từ 0,510 mg.g⁻¹.h⁻¹ (ngày bảo quản 5) lên 1,283 mg.g⁻¹.h⁻¹ (ngày bảo quản 15), trong khi đó các mẫu xử lý CaCl₂ và SNP tăng chậm hơn. Mẫu xử lý kết hợp SNP và CaCl₂ cho thấy hoạt lực PG tăng chậm và duy trì liên tục; đạt cao nhất vào ngày bảo quản 35 với giá trị (1,262 mg.g⁻¹.h⁻¹). Không có sự khác biệt đáng kể trong hoạt lực pectin methyl esterase (PME) giữa tất cả các mẫu được xử lý cho đến ngày bảo quản thứ 15 (p>0,05). Sau đó, hoạt lực PME giảm nhanh được ghi nhận ở quả bơ đối chứng. Phương pháp xử lý SNP 1,5 mM và CaCl₂ 6% làm giảm chậm hoạt lực enzyme PME trong thời gian bảo quản. Trong khi đó mẫu xử lý kết hợp SNP và CaCl₂ có hiệu quả trong việc suy trì hoạt lực enzyme PME trong quả bơ. Canxi được sử dụng ngoại sinh liên kết với các điện tích âm của dư lượng acid uranic đã khử este hóa do enzyme PME tạo ra trong quá trình chín và do đó tăng cường độ bền cơ học của mô tế bào (Awang, 2013). Kết quả nghiên cứu của chúng tôi chỉ ra rằng CaCl₂ và SNP đã có hiệu quả duy trì hoạt lực enzyme polygalacturonase (PG) và pectin methyl esterase (PME) do đó làm

chậm quá trình làm mềm quả (Lv và cs., 2020).

3.5. Ảnh hưởng của xử lý SNP và CaCl₂ đến hoạt lực enzyme polyphenol oxydase (PPO) và phenolic (TPC)

Các hợp chất phenolic trong thực vật thường tồn tại dưới dạng chất chuyển hóa các chất có hoạt tính sinh học, hợp chất phenolic là chất cho điện tử để loại bỏ các gốc tự do và ức chế các phản ứng oxi hóa khử không mong muốn trong cơ thể nhằm tăng cường sức khỏe con người (Francesco và cs., 2019). CaCl₂ làm tăng hàm lượng polysacarit trong thành tế bào trái cây và duy trì cấu trúc màng tế bào, ngăn ngừa căng thẳng do lão hóa gây ra và làm chậm quá trình giải phóng hoặc oxy hóa hợp chất phenolic (Vincent và cs., 2020). Quá trình lão hóa và sự hư hỏng của rau quả sau thu hoạch được đặc trưng bởi sự gia tăng màu nâu của vỏ quả và sự phân hủy thịt quả, đồng thời làm giảm hương vị và chất lượng dinh dưỡng (Duan và cs., 2007b). Một trong những nguyên nhân chính là do hoạt lực của enzyme polyphenol oxydase (PPO). PPO oxy hóa polyphenol thành quinon, trong các phản ứng sau đó, tạo ra melanines, sắc tố gây ra màu nâu trong thịt quả (Vargas-Ortiz và cs., 2017).



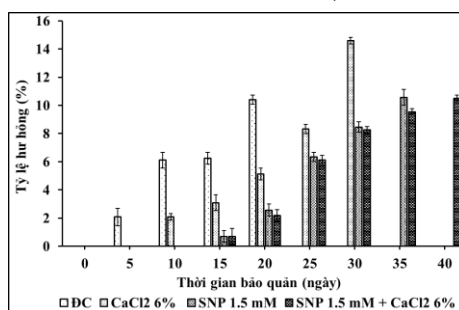
Hình 4. Ảnh hưởng của xử lý SNP và CaCl₂ đến hoạt lực phenolic (TPC) và polyphenol oxydase (PPO)

Các hợp chất phenolic (TPC) cho thấy hoạt động chống oxy hóa tốt và là một phần không thể thiếu trong chế độ ăn uống của con người, giúp giảm nguy cơ mắc các bệnh nguy hiểm bao gồm cả ung thư (Misran và cs., 2021). Tất cả các mẫu xử lý có hoạt lực phenolic (TPC) tăng dần ở quả bơ trong quá trình bảo quản (Hình 4A). Không có sự khác biệt đáng kể hàm lượng phenolic giữa các mẫu xử lý ($p > 0,05$). Tuy nhiên, mẫu xử lý kết hợp SNP và CaCl₂ có hiệu quả duy trì hoạt lực phenolic cao nhất trong suốt thời gian bảo quản quả bơ. Có sự khác biệt về hoạt lực PPO giữa các mẫu bảo quản ($p < 0,05$) (Hình 4B). Cụ thể, mẫu ĐC có hoạt lực PPO đạt đỉnh nhanh nhất vào ngày bảo quản 15 với giá trị ($3,504 \text{ mmol.m}^{-1}.\text{g}^{-1}$). Các mẫu xử lý CaCl₂ và SNP duy trì hoạt lực PPO thấp hơn trong suốt thời gian bảo quản. Oxit nitric (NO) được giải phóng khỏi SNP đã ức chế hoạt động của các enzyme polygalacturonase (PPO) (Li và cs., 2020). Sự hình thành các chất màu nâu của màng tế bào quả sau thu hoạch chủ yếu là do quá trình oxy hóa enzyme của các hợp chất phenolic, sự phân

hủy của các sắc tố anthocyanin và sự hút ẩm của màng quả (Jiang và cs., 2004). Xử lý CaCl₂ làm tăng hàm lượng polysaccharid trong thành tế bào quả và duy trì cấu tạo của màng tế bào, điều này có tác dụng ngăn ngừa căng thẳng do lão hóa gây ra và làm chậm quá trình giải phóng hoặc oxy hóa hợp chất phenolic trong quả (Misran và cs., 2021). Bên cạnh đó, xử lý SNP làm giảm sự suy giảm của các sắc tố anthocyanin trong vỏ, điều này có mối tương quan cao với tỷ lệ chuyển sang màu nâu thấp hơn ở quả được xử lý (Wang và cs., 2015). Ứng dụng CaCl₂ và SNP đóng một vai trò quan trọng trong việc trì hoãn quá trình lão hóa của quả nhờ đặc tính chống oxy hóa của nó (Duan và cs., 2007b).

3.6. Ảnh hưởng của xử lý SNP và CaCl₂ đến tỷ lệ hư hỏng

Xử lý SNP đã làm chậm đáng kể sự gia tăng màu nâu của vỏ quả trong quá trình bảo quản (Zhang và cs., 2022). Sự kết hợp của các ion canxi trong mô tế bào rau quả thúc đẩy các liên kết chéo mới giữa các homogalacturonan anion, củng cố thành tế bào (Fenet, 2021).



Hình 5. Ảnh hưởng của xử lý SNP và CaCl₂ đến tỷ lệ hư hỏng

Tất cả các mẫu xử lý đều làm giảm đáng kể tỷ lệ hư hỏng quả bơ, so với quả bơ ĐC (Hình 5). Có sự khác biệt giữa các mẫu xử lý sau thu hoạch về tỷ lệ quả hư hỏng trong suốt thời gian bảo quản ($p < 0,05$). Kết quả cho thấy; xử lý kết hợp CaCl_2 và SNP đã làm giảm hiệu quả sự hư hỏng của quả bơ, do đó kéo dài thời gian bảo quản quả bơ. Quả bơ đối chứng có tỷ lệ hư hỏng cao nhất (10,417%) tương ứng vào ngày 20 của quá trình bảo quản. Quả bơ xử lý CaCl_2 và SNP có tỷ lệ hư hỏng đạt giá trị cực đại lần lượt (14,58% và 10,56%) vào ngày bảo quản 30 và 35 tương ứng. Xử lý kết hợp CaCl_2 và SNP quả có tỷ lệ hư hỏng cực đại (10,503%) vào ngày bảo quản thứ 40 và hơn nữa cho thấy quả bị hư hỏng ít nhất trong tất cả các mẫu bảo quản. Sự kết hợp của các ion canxi trong mô quả thúc đẩy các liên kết chéo mới giữa các homogalacturonan anion, củng cố thành tế bào và đặc biệt là phiên mỏng ở giữa chịu trách nhiệm giữ các tế bào lại với nhau (Fenet, 2021). Hơn nữa, các nghiên cứu trước đây cho thấy hiệu quả của CaCl_2 và SNP làm giảm tỷ lệ hư hỏng quả sau thu hoạch quả cà chua (Siddiqui và cs., 2017); quả đu đủ (Lata và cs., 2018).

4. KẾT LUẬN

Phương pháp xử lý SNP 1,5 mM và CaCl_2 6% trong thời gian 15 phút trên quả bơ, đã ngăn chặn hiệu quả sự thay đổi tỷ lệ hư hỏng và giảm khối lượng của quả bơ trong quá trình bảo quản. Độ cứng, hoạt lực phenolic (TPC); hoạt lực polyphenol oxydase (PPO); hoạt lực enzyme polygalacturonase (PG) và pectin methyl esterase (PME) cũng được duy trì đáng kể. Kết quả đã kéo dài thời hạn bảo quản quả bơ Booth7 sau thu hoạch lên đến 35 ngày ở điều kiện bảo quản ($8 \pm 1^\circ\text{C}$; $\text{RH} = 90 \pm 5\%$). Do đó, kết quả của bài báo có khả năng ứng dụng vào thực tế sản xuất và mở rộng thị trường tiêu thụ của quả bơ sau thu hoạch tại Tây Nguyên nói riêng và cả nước nói chung.

LỜI CẢM ƠN

Các tác giả xin cảm ơn Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế đã hỗ trợ cung cấp các trang thiết bị thí nghiệm phục vụ cho nghiên cứu này. Trần Thị Kim Nhi được trao học bổng từ Chương trình học bổng Thạc sĩ/Tiến sĩ của Vingroup Innovation Quỹ (VINIF) và Viện Dữ liệu lớn Vingroup (VINBIGDATA) với mã tương ứng VINIF.2022.ThS.064.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tài liệu Tiếng Việt

Trần Thị Kim Nhi, Nguyễn Văn Toàn và Lê Văn Luận. (2021). Nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ calcium chloride đến chất lượng và thời gian bảo quản quả bơ Booth7 sau thu hoạch. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nông nghiệp Việt Nam*, 4, 31-36.

2. Tài liệu tiếng nước ngoài

- Aghdam, M. S., Kakavand, F., Rabiei, V., Zaare-Nahandi, F., & Razavi, F. (2019). γ -Aminobutyric acid and nitric oxide treatments preserve sensory and nutritional quality of cornelian cherry fruits during postharvest cold storage by delaying softening and enhancing phenols accumulation. *Scientia Horticulturae*, 246, 812-817. DOI:10.1016/j.scienta.2018.11.064
- Awang. (2013). Polygalacturonase and pectin methylesterase activities of CaCl_2 treated red-fleshed dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) harvested at different maturity. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 8, 167-172. DOI:10.3844/ajabssp.2013.167.172
- Benkeblia, N. (2014). Respiration rate, ethylene production and biochemical variations of ackee fruit arils (*Blighia sapida* Koenig) stored under three temperature regimes. *Postharvest Biology and Technology*, 97, 36-43. DOI:10.1016/j.postharvbio.2014.06.003
- Blainski, A., Lopes, G. C., & Mello, J. C. P. D. (2013). Application and analysis of the folinciocalteu method for the determination of the total phenolic content from *Limonium Brasiliense* L. *Molecules*, 18, 6852-6865. DOI: 10.3390/molecules18066852
- Chen, J., Liu, X., Li, F., Li, Y., & Yuan, D. (2017). Cold shock treatment extends shelf life of naturally ripened or ethylene-ripened

- avocado fruits. *Plos One*, 12, 1-13. e0189991. DOI: 10.1371/journal.pone.0189991
- Duan, X.W., Su, X.G., You, Y.L., Qu, H.X., Li, Y.B., & Jiang, Y.M. (2007b). Effect of nitric oxide on pericarp browning of harvested longan fruit in relation to phenolics metabolism. *Food Chemistry*, 104, 571-576. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.12.007>
- Fenet, G. (2021). Effect of post-harvest Calcium Chloride treatment on quality and shelf life of Apple (*Malus domestica*). *International Journal of Food Engineering and Technology*, 5, 79-84. DOI:10.11648/j.ijfet.20210502.16
- Francesco, P., Daniele, S., Giorgia, S., Francesca, Z., & Ilaria, Z. (2019). Polyphenol health effects on cardiovascular and neurodegenerative disorders: A review and meta-analysis. *International Journal of Molecular Sciences*, 20, 351-361.
- Fuentealba, C., Vidal, J., Zulueta, C., Ponce, E., Uarrotta, V., Defilippi, B.G., & Pedreschi, R. (2022). Controlled atmosphere storage alleviates Hass avocado black spot disorder. *Horticulturae*, 8, 369-376. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050369>
- Gao, Q., Tan, Q., Song, Z., Chen, W., Li, X., & Zhu, X. (2020). Calcium chloride postharvest treatment delays the ripening and softening of papaya fruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, 10, 1-12. DOI:10.1111/jfpp.14604
- Jiang, Y., Duan, X., Joyce, D., Zhang, Z., & Li, J. (2004). Advances in understanding of enzymatic browning in harvested litchi fruit. *Food Chemistry*, 88, 443-446 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.004>
- Kim, Y. T., Ha, S. T. T., Chun, I. & In, B. C. (2021). Inhibition of ethylene binding and biosynthesis maintains fruit quality of 'formosa' plums during postharvest storage. *Horticultural Science and Technology*, 39, 368-378. <https://doi.org/10.7235/HORT.20210033>
- Lata, D., Aftab, M. A., Homa, F., Ahmad, M. S., & Siddiqui, M. W. (2018). Effect of eco-safe compounds on postharvest quality preservation of papaya (*Carica papaya* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 40, 2-8. doi:10.1007/s11738-017-2584-5
- Li, Z.Y., Wang, L., Xie, B., Hu, S.Q., Zheng, Y.H. & Jin, P. (2020). Effects of exogenous calcium and calcium chelant on cold tolerance of postharvest loquat fruit. *Sciences Horticulture*, 269, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109391>
- Lv, J., Han, X., Bai, L., Xu, D., Ding, S., Ge, Y., Li, C., & Li, J. (2020). Effects of calcium chloride treatment on softening in red raspberry fruit during low-temperature storage. *Journal of Food Biochemistry*, 419, 1-8. DOI:10.1111/jfbc.13419
- Misran, A., Ding, P., Wahab, P.E.M., & Mohamad, A. (2021). Effect of harvesting stages and calcium chloride application on postharvest quality of tomato fruits. *Coatings*, 11, 1445-1454. <https://doi.org/10.3390/coatings11121445>
- Naveena, B. & Immanuel, G., 2017. Effect of calcium chloride, sodium chloride and lime juice on physicochemical properties of cucumber. *International Journal of Agricultural Science and Research (IJASR)*, 7, 765-770. DOI:10.24247/ijasraug2017101
- Nguyen, L.L.P., Pham, T.T., Syium, Z.H., Zsom-Muha, V., Baranyai, L., Zsom, T., & Hitka, G. (2022). Delay of 1-MCP treatment on post-harvest quality of 'Bosc Kobak' pear. *Horticulturae*, 8, 89-98. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8020089>
- Pedreschi, R., Uarrotta, V., Fuentealba, C., Alvaro, J. E., Olmedo, P., Defilippi, B. G., Meneses, C & Campos-Vargas, R. (2019). Primary metabolism in avocado fruit. *Front Plant Science*, 10, 1-16. DOI: 10.3389/fpls.2019.00795
- Russo, V. C., Daiuto, E. R., Vietes, R. L., & Smith, R. E. (2013). Postharvest parameters of the "Fuerte" avocado when refrigerated in different modified atmospheres. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38, 2006-2013. DOI:10.1111/jfpp.12177
- Siddiqui, M. H., Alamri, S.A., Al-Khaishany, M. Y. Y, Al-Qutami, M. A., Ali, H.M., & Khan, M. N. (2017). Nitric oxide and Calcium induced physio-biochemical changes in tomato (*Solanum lycopersicum*) plant under heat stress. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26, 1663-1672.
- Singh, V., Jawandha, S. K., Gill, P. P. S., & Gill, M. S. (2019). Suppression of fruit softening and extension of shelf life of pear by

- putrescine application. *Scientia Horticulturae*, 256, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108623>
- Steffens, C. A., Miqueloto, T., Fernandes, R., Demari, C., Anami, J., Lugaresi, A., & Amarante, C. (2021). Treatment with nitric oxide preserves the quality of cold stored 'Cripps Pink' apples. *Bragantia*, 80, 1-9. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200494>
- Tokala, V. Y., Singh, Z., & Kyaw, P. N. (2021). 1H-cyclopropabenzene and 1H-cyclopropa[b]naphthalene fumigation downregulates ethylene production and maintains fruit quality of controlled atmosphere stored 'granny smith' apple. *Postharvest Biology and Technology*, 176, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111499>
- Vargas-Ortiz, M., Rodríguez-Jimenes, G., Salgado-Cervantes, M., & Pallet, D. (2016). Minimally processed avocado through flash vacuum-expansion: Its effect in major physicochemical aspects of the puree and stability on storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, 1-10. DOI:10.1111/jfpp.12988
- Vincent, C., Mesa, T., & Munné-Bosch, S. (2020). Hormonal interplay in the regulation of fruit ripening and cold acclimation in avocados. *Journal of Plant Physiology*, 153225, 1-41. doi:10.1016/j.jplph.2020.153225
- Wang, Y., Luo, Z., & Du, R. (2015). Nitric oxide delays chlorophyll degradation and enhances antioxidant activity in banana fruits after cold storage. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37, 1-10. DOI:10.1007/s11738-015-1821-z
- Zhang, X.Y., Ma, M.J., Ye, B., Liu, L., & Ji, S.J. (2021). Calcium ion improves cold resistance of green peppers (*Capsicum annuum* L.) by regulating the activity of protective enzymes and membrane lipid composition. *Scientia Horticulturae*, 277, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109789>
- Zhang, R., Yuan, Z., Jiang, Y., Jiang, F & Chen, P. (2022). Sodium nitroprusside functions in browning control and quality maintaining of postharvest rambutan fruit. *Frontiers in Plant Science*, 12, 1-13. DOI: 10.3389/fpls.2021.795671