



DOI:10.22144/ctujos.2023.218

ẢNH HƯỞNG CỦA TIỀN XỬ LÝ NHIỆT NGUYÊN LIỆU VÀ ĐIỀU KIỆN THẨM THẤU ĐẾN CHẤT LƯỢNG TRÀ GỪNG (*ZINGIBER OFFICINALE*) TÚI LỌC

Trần Bạch Long¹, Trần Thanh Trúc^{1,2}, Huỳnh Xuân Phong¹ và Nguyễn Văn Mười^{1*}

¹Viện Công nghệ sinh học và Thực phẩm, Trường Đại học Cần Thơ

²Khoa Sau đại học, Trường Đại học Cần Thơ

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

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 01/07/2023

Sửa bài (Revised): 04/07/2023

Duyệt đăng (Accepted): 05/07/2023

Title: Effects of pre-treatment and osmotic conditions on the quality of ginger tea

Author(s): Tran Bach Long, Tran Thanh Truc, Huynh Xuan Phong and Nguyen Van Muoi*

Affiliation(s): Can Tho University

TÓM TẮT

Quá trình chế biến trà gừng túi lọc có thể ảnh hưởng đáng kể đến đặc tính chất lượng của sản phẩm. Mục tiêu của nghiên cứu là đánh giá các yếu tố tác động đến việc duy trì màu vàng đặc trưng của gừng và các hoạt chất sinh học để tạo ra một sản phẩm trà có chất lượng. Nghiên cứu được thực hiện với ba nội dung (i) khảo sát ảnh hưởng của nồng độ acid citric, (ii) nhiệt độ và thời gian chần và (iii) nồng độ muối NaCl trong dịch ngâm đến màu vàng đặc trưng, mùi vị và hợp chất có hoạt tính sinh học. Kết quả nghiên cứu cho thấy, gừng được ngâm trong acid citric có nồng độ 2% với tỷ lệ 1:3 (w/v) trong 30 phút đạt giá trị tốt về độ sáng và giữ được hoạt tính sinh học tốt nhất. Gừng sau khi ngâm acid citric được chần ở nhiệt độ 100°C trong 2 phút đạt giá trị tốt nhất về màu sắc. Bên cạnh đó, gừng ngâm trong dung dịch muối 1% NaCl với tỷ lệ 1:3 (w/v) làm giảm vị hăng và cay nồng của sản phẩm trà gừng.

Từ khóa: Biological activities, blanching, citric acid, ginger tea, NaCl

ABSTRACT

The processing of ginger tea bags can significantly impact the characteristic qualities of the product. The objective of this study is to evaluate the factors influencing the maintenance of ginger's characteristic yellow color and its bioactive compounds, ensuring the production of high-quality tea products. The research focused on three main aspects: (i) investigating the impact of citric acid concentrations, (ii) evaluating temperatures and blanching times, and (iii) assessing NaCl salt concentrations in the soaking solution regarding the characteristic yellow color, flavor, and bioactive compounds of ginger tea. The research results indicated that soaking ginger in a 2% citric acid solution at a ratio of 1:3 (w/v) for 30 minutes achieved a great brightness value and preserved the best bioactive properties. Subsequently, blanching the citric acid-soaked ginger at 100°C for 2 minutes yielded the highest color quality. Moreover, further soaking ginger in a 1% NaCl solution at a ratio of 1:3 (w/v) reduced the pungency of the ginger tea product.

Keywords: Acid citric, chần, hoạt tính sinh học, NaCl, trà gừng

1. GIỚI THIỆU

Loài gừng (*Zingiber officinale* Roscoe, Zingiberaceae) là loài dược liệu được sử dụng phổ biến để điều trị các bệnh như viêm thấp khớp, bong gân, đau nhức cơ bắp, viêm họng, đau bụng, táo bón, khó tiêu, nôn mửa, tăng huyết áp, mất trí nhớ, sốt, bệnh truyền nhiễm, giun sán và một số bệnh khác (Ali et al., 2008).

Trà túi lọc là một trong những đồ uống phổ biến nhất trên thế giới vì hương vị thơm ngon và có tác dụng tốt cho sức khỏe con người. Trà là một trong những ngành công nghiệp có lịch sử lâu đời (Yan et al., 2020). Giá trị dinh dưỡng của trà chủ yếu là từ các nhóm polyphenol; các nhóm polyphenol này có các đặc tính kháng oxy hoá, giảm các bệnh ung thư khác nhau, ức chế viêm và tác dụng bảo vệ chống lại bệnh đái tháo đường, chống rối loạn lipid huyết và giảm béo phì (Zhang et al., 2021).

Tuy nhiên, các hoạt chất sinh học trong gừng có thể giảm đáng kể trong quá trình chế biến, đặc biệt là giai đoạn tiền xử lý với nhiệt độ cao hay ngâm trong dung dịch thẩm thấu. Việc sử dụng các chất có tính acid, điển hình như acid citric để điều chỉnh pH môi trường thấp hơn pH tối ưu của enzyme sẽ giúp hạn chế hoạt động của enzyme polyphenol oxidase (PPO). Hơn thế nữa, acid citric còn có khả năng tạo phức với đồng trong phenolase, làm ức chế hoạt động của polyphenol oxidase (Thủy và ctv., 2016).

Mặc khác, thực vật sẽ dễ dàng bị hóa nâu do quá trình oxy hóa của PPO, phản ứng hoá nâu xảy ra tạo một số hợp chất màu làm ảnh hưởng đến màu sắc, đặc biệt là độ trắng sáng của các nguyên liệu giàu PPO. Cho nên, việc tiền xử lý nhiệt như quá trình chần có thể làm bất hoạt các enzyme gây hoá nâu hoặc các phản ứng phân huỷ các hợp chất phenolic mà còn giúp loại bỏ vi sinh vật bám trên bề mặt nguyên liệu, giúp nâng cao chất lượng, màu sắc và duy trì giá trị dinh dưỡng sản phẩm thực vật (Abu-Ghannam & Jaiswal, 2015). Tuy nhiên, việc xử lý nhiệt không thích hợp có thể là nguyên nhân dẫn đến sự phá huỷ đặc tính cấu trúc, tổn thất các chất dinh dưỡng và không an toàn về mặt vi sinh (Cascais et al., 2021). Chính vì vậy, việc nghiên cứu các điều kiện như xử lý acid citric, xử lý nhiệt cũng như quá trình thẩm thấu đã được nghiên cứu.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phương pháp thu nhận và xử lý mẫu

Gừng sử dụng làm nghiên cứu được mua tại nhà vườn ở phường Thường Thạnh, quận Cái Răng, thành phố Cần Thơ. Những củ gừng được chọn mua

có độ tuổi thu hoạch 8 tháng, đồng đều, không bị hư hỏng. Mẫu gừng được cạo vỏ, rửa sạch, cắt thành sợi nhỏ (chiều dày 1 - 2 mm), sau xử lý được trữ trong tủ mát (4°-6°C) không quá 48 giờ trước khi tiến hành các thí nghiệm.

2.2. Phương pháp phân tích

– Độ ẩm (%): Gừng được sấy đến khối lượng không đổi theo Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) 5613:1991.

– Độ hoạt động của nước: Thiết bị đo a_w (WA-60A, nhiệt độ xác định 25°C) được sử dụng.

– Hoạt tính kháng oxy hóa (Trolox equivalent antioxidant capacity - TEAC) ($\mu\text{mol TE/g CKNL}$ - chất khô nguyên liệu): đặc xác định bằng phương pháp xác định gốc tự do với chất chuẩn là DPPH (2,2-diphenyl-1-1-picrylhydrazyl) và so sánh với trolox, đo sự biến đổi màu từ tím sang vàng nhạt ở bước sóng 517 nm (Fatemeh et al., 2012).

– Màu sắc L^* , a^* , b^* được xác định bằng máy Colorimeter NH300 (ShenZhen Technology Co., Trung Quốc).

– Hàm lượng flavonoid tổng TFC (mg QE/100g CKNL) được xác định bằng phương pháp đo quang phổ ở bước sóng 415 nm, dựa trên phản ứng hình thành hợp chất phức hợp flavonoid – AlCl_3 (Chang et al., 2002).

– Hàm lượng polyphenol tổng số TPC (mg GAE/g CKNL) được xác định bằng phương pháp so màu với acid gallic làm chất chuẩn, thuốc thử Follin-Ciocalteu như chất oxy hoá, xác định màu tại bước sóng 738 nm (Premakumari., 2010).

2.3. Bố trí thí nghiệm

2.3.1. Khảo sát ảnh hưởng của acid citric ngâm đến việc làm sáng màu và duy trì hàm lượng các hoạt tính sinh học trong sản phẩm trà gừng túi lọc

Gừng ngâm trong dung dịch acid citric với tỷ lệ nguyên liệu và nước là 1:3 (w/v) ở các nồng độ 1%, 2%, 3% và 4% trong 30 phút. Tiếp theo, gừng được xả sạch với nước và chần ở 100°C trong 2 phút. Sau khi chần, gừng được làm nguội nhanh trong nước lạnh, mẫu được vớt ra và ngâm trong dung dịch NaCl trong 30 phút với tỉ lệ nguyên liệu và nước là 1:3 (w/v) ở nồng độ muối 2%. Mẫu sau đó được vớt ra, để ráo và sấy ở 50°C cho đến khi gừng đạt độ ẩm 60%. Mẫu được sao rang (ở nhiệt độ 100±3°C) đến khi độ ẩm đạt 10%. Cuối cùng, mẫu được xay và phân tích các chỉ tiêu.

2.3.2. Xác định nhiệt độ và thời gian chần đến việc duy trì màu đặc trưng và hàm lượng các hoạt tính sinh học trong sản phẩm trà gừng túi lọc

Gừng được chuẩn bị như mục 2.3.1, mẫu được ngâm với dung dịch acid citric, tỷ lệ nguyên liệu và nước ngâm là 1:3 (w/v) trong thời gian 30 phút ở nồng độ được lựa chọn ở mục 2.3.1. Sau đó được xả lại với nước sạch, gừng được chần ở 3 mức nhiệt độ khác nhau lần lượt là 80°C, 90°C và 100°C với thời gian chần là 1, 2, 3 và 4 phút. Các công đoạn sấy, sao rang, xay tương tự như mục 2.3.1.

2.3.3. Xác định nồng độ NaCl thích hợp trong dịch ngâm đến màu sắc, mùi vị và các hoạt tính sinh học trong sản phẩm trà gừng túi lọc

Gừng sau khi xử lý ngâm trong acid citric được lựa chọn ở mục 2.3.1, tiến hành chần ở nhiệt độ và thời gian thích hợp ở mục 2.3.2. Sau đó, ngâm mẫu trong dung dịch NaCl trong 30 phút với tỉ lệ nguyên liệu và nước lần lượt là 1:3 (w/v) ở các nồng độ muối lần lượt là 0,5%, 1%, 1,5% và 2%. Các công đoạn sấy, sao rang, xay tương tự như mục 2.3.1.

2.4. Phương pháp thu nhận và xử lý số liệu

Các số liệu thu thập dựa trên kết quả lặp lại ít nhất 3 lần cho mỗi đơn vị thí nghiệm. Kết quả khảo sát được xử lý thống kê theo chương trình Statgraphics Centurion 16.1 và Phương pháp phân tích phương sai (ANOVA) và kiểm định LSD, được sử dụng để kết luận sự sai khác giữa trung bình các nghiệm thức.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thành phần cơ bản của gừng

Xác định thành phần cơ bản của nguyên liệu cần thiết và đầu tiên trước khi tiến hành các nghiên cứu tiếp theo. Kết quả thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1 cho thấy gừng thuộc dạng nguyên liệu có độ ẩm rất cao (92,46±0,45%). Độ ẩm cao có thể gây hư hỏng nhanh ở thực phẩm. Hàm lượng polyphenol trung bình là 21,44±0,15 mg GAE/g CKNL, với khả

năng kháng oxy hoá là 123,90±0,73 µmol TE/g CKNL và hàm lượng flavonoid tổng (TFC) là 46,14±1,21 mg QE/100 g CKNL. Kết quả cho thấy gừng chứa các hợp chất có hoạt chất sinh học cũng như khả năng kháng oxy hóa cao (Vijay et al., 2021; Styawan et al., 2022). Bên cạnh đó, gừng có màu vàng ngà đặc trưng được biểu thị bởi độ sáng L* (từ màu đen đến màu trắng) và b* (từ xanh da trời đến màu vàng). Tuy nhiên, quá trình sấy và sao rang làm giảm đi nhiều các hoạt tính sinh học này và làm sản phẩm bị sẫm màu do nguyên liệu có hợp chất phenol (tannin) tiếp xúc và phản ứng với enzyme polyphenoloxydase (PPO) nội bào (Zhou et al., 2022). Vì vậy, các quá trình tiền xử lý như ngâm acid citric hay chần giúp sản phẩm hạn chế bị sẫm màu cũng như duy trì nhóm polyphenol có trong trà gừng sau quá trình chế biến.

Bảng 1. Thành phần cơ bản của gừng

Thành phần	Giá trị (*)
Độ ẩm (%)	92,46±0,45
Độ sáng L*	70,28±0,30
Độ màu a*	5,12±0,21
Độ màu b*	25,09±0,34
Hàm lượng polyphenol tổng số	21,44±0,15
TPC (mg GAE/g CKNL)	
Hàm lượng flavonoid tổng	46,14±1,21
TFC (mg QE/100g CKNL)	
Hoạt tính kháng oxy hoá	123,90±0,73
TEAC (µmol TEAC/g CKNL)	

Ghi chú: *Giá trị được biểu thị bằng trung bình ± độ lệch chuẩn của phép đo 3 lần; CKNL: Chất khô nguyên liệu.

3.2. Ảnh hưởng của nồng độ acid citric ngâm đến việc duy trì chất lượng của trà gừng

3.2.1. Ảnh hưởng của nồng độ acid citric ngâm đến màu sắc trà gừng túi lọc

Ngâm acid citric giúp cải thiện thêm màu sắc do ức chế được hoạt động của enzyme PPO làm cho gừng ít bị sẫm màu sau khi sấy. Sự tác động có ảnh hưởng đáng kể đến độ sáng và độ màu được trình bày ở Bảng 2.

Bảng 2. Ảnh hưởng của nồng độ acid citric đến độ sáng của sản phẩm

Acid citric (%)	Độ sáng L*	Độ màu a*	Độ màu b*
1	66,53 ^a ±0,18	9,4 ^b ±0,19	15,47 ^d ±0,23
2	69,52 ^a ±0,28	9,85 ^a ±0,08	18,64 ^a ±0,28
3	68,39 ^b ±0,14	8,19 ^d ±0,18	17,69 ^b ±0,14
4	67,59 ^c ±0,24	8,55 ^c ±0,25	17,27 ^c ±0,09

Ghi chú: Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị khác biệt có ý nghĩa của các nghiệm thức khảo sát ở mức độ tin cậy 95% theo phép thử LSD.

Kết quả ở Bảng 2 cho thấy acid citric giúp cải thiện rõ rệt độ sáng sản phẩm trà gừng. Kết quả cho thấy khi ngâm gừng ở nồng độ dung dịch acid citric 2% có độ sáng L^* ($69,52 \pm 0,28$) và độ màu b^* ($18,64 \pm 0,28$) tốt hơn khi ngâm các nồng độ acid citric khác. Kết quả này có thể giải thích do PPO có pH tối thích ở khoảng trung tính (Zhang, 2023). Tuy nhiên, việc sử dụng acid citric ở nồng độ cao có thể dẫn đến hiện tượng mất nước trong tế bào do chênh lệch nồng độ chất tan, kết quả làm giảm độ sáng (L^*) của sản phẩm (cụ thể trong nghiên cứu này độ sáng của gừng giảm khi ngâm gừng ở nồng độ 3% và 4%

giảm còn lần lượt là 68,39 và 67,59). Những thay đổi không mong muốn về màu sắc của thực phẩm có thể dẫn đến giảm sự chấp nhận của người tiêu dùng và giá thị trường (Nourian et al., 2003).

3.2.2. Ảnh hưởng của nồng độ acid citric ngâm đến hàm lượng các hoạt chất sinh học trong sản phẩm trà gừng túi lọc

Trong quá trình ngâm acid citric, sự thẩm thấu của nước vào trong sản phẩm sẽ làm cho các hoạt chất sinh học cũng bị ảnh hưởng, kết quả được trình bày ở Bảng 3.

Bảng 3. Ảnh hưởng của nồng độ acid citric đến các thành phần và hoạt chất sinh học sản phẩm

Acid citric (%)	TPC (mg GAE/g CKNL)	TFC (mg QE/100g CKNL)	TEAC ($\mu\text{mol TE/g CKNL}$)
1	$6,17^b \pm 0,06$	$20,37^b \pm 0,08$	$23,47^a \pm 0,11$
2	$6,80^a \pm 0,08$	$21,12^a \pm 0,11$	$22,98^b \pm 0,09$
3	$5,55^c \pm 0,05$	$19,79^c \pm 0,06$	$22,60^c \pm 0,13$
4	$5,18^d \pm 0,07$	$19,38^d \pm 0,07$	$21,95^d \pm 0,12$

Ghi chú: Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị khác biệt có ý nghĩa của các nghiệm thức khảo sát ở mức độ tin cậy 95% theo phép thử LSD.

Bảng 3 cho thấy rằng hàm lượng polyphenol tổng số (TPC) có khuynh hướng tăng lên ở nồng độ 1% và 2%, cụ thể là giá trị này lần lượt đạt 6,17 mg GAE/g CKNL và 6,80 mg GAE/g CKNL ở nồng độ acid citric 1% và 2%. Tuy nhiên, hàm lượng polyphenol lại giảm khi tăng nồng độ acid ngâm (trong nghiên cứu này thì hàm lượng polyphenol giảm lần lượt còn 5,547 mg GAE/g CKNL và 5,18 mg GAE/g CKNL ở nồng độ 3% và 4%). Vì sự thẩm thấu nước luôn xảy ra cùng với sự khuếch tán của chất tan qua màng tế bào (Rastogi et al., 2002) nên một phần chất tan có xu hướng di chuyển ra ngoài làm giảm hàm lượng polyphenol.

nồng độ acid citric (hoạt chất kháng oxy hoá giảm từ 23,42 $\mu\text{mol TE/g CKNL}$ ở nồng độ acid 1% giảm xuống còn 21,95 $\mu\text{mol TE/g CKNL}$ ở nồng độ 4%). Điều này có thể giải thích do khi bổ sung hàm lượng acid citric cao có thể gây phân hủy nhóm polyphenol làm giảm hàm lượng hoạt chất kháng oxy hoá.

Tóm lại, nghiên cứu cho thấy rằng khi ngâm gừng trong dung dịch acid citric 2% cho kết quả tích cực đến chất lượng trà gừng túi lọc.

3.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian chần đến chất lượng trà gừng túi lọc

3.3.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian chần đến màu sắc của sản phẩm

Hàm lượng flavonoid (TFC) cũng bị ảnh hưởng đáng kể khi thay đổi nồng độ acid citric ngâm, kết quả ở Bảng 3 cũng cho thấy hàm lượng flavonoid tăng lên từ nồng độ 1% lên 2% (hàm lượng này lần lượt đạt giá trị là 20,37 mg QE/100 g CKNL và 21,12 mg QE/100 g CKNL ở nồng độ 1% và 2%). Tuy nhiên, khi tăng nồng độ acid citric thì hàm lượng flavonoid có khuynh hướng giảm (hàm lượng flavonoid giảm lần lượt còn 19,79 mg QE/100 g CKNL và 19,38 mg QE/100 g CKNL ở nồng độ acid citric 3% và 4%). Ở nồng độ quá cao, sự vỡ tế bào xảy ra nhanh chóng, một số hợp chất flavonoid dạng tan trong nước sẽ theo nước thẩm thấu đi ra ngoài dung dịch thẩm thấu (Thùy và ctv., 2016).

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian chần đến màu của sản phẩm trà gừng được thể hiện ở Bảng 4, kết quả cho thấy chế độ chần có ảnh hưởng mạnh đến màu sắc của sản phẩm. Khi xử lý nhiệt 80°C, thời gian chần 1 phút, 2 phút, 3 phút và 4 phút đã làm thay đổi màu vàng ngà đặc trưng của sản phẩm. Khi chần ở nhiệt độ 70 ÷ 80°C với thời gian giữ nhiệt ngắn sẽ không đủ để ức chế khả năng hoạt động của enzyme polyphenoloxidase (PPO) (Kim et al., 2006). Ở chế độ nhiệt 90°C, màu vàng gừng thể hiện qua giá trị độ màu b^* nằm trong giới hạn chấp nhận của người tiêu dùng (cụ thể là màu vàng tăng lên theo thời gian 1 phút, 2 phút, 3 phút và 4 phút lần lượt có giá trị là 18,36, 19,71, 20,77 và 22,65, nhưng độ sáng đạt giá trị cao nhất ở thời gian 3 phút ($L^*=70,60$). Ở chế độ nhiệt 100°C, màu vàng ngà đặc trưng của sản phẩm được cải thiện rõ rệt khi tăng từ 1 phút lên 2 phút (ở 100°C trong khoảng thời

gian 1 phút và 2 phút thì giá trị b* tăng từ 21,68 đến 23,14 và giá trị L* tăng từ 65,7 đến 74,59) nhưng màu vàng ngà lại giảm khi tăng thời gian lên 3 phút và 4 phút (ở 100°C, khi tăng lên đến thời gian 3 phút

và 4 phút thì giá trị b* giảm lần lượt còn 21,23 và 20,8 và giá trị L* giảm lần lượt xuống 72,52 và 69,53).

Bảng 4. Ảnh hưởng của thời gian và nhiệt độ chần đến màu của sản phẩm

Nhiệt độ (°C)	Thời gian (phút)	Màu sắc		
		L*	a*	b*
80°C	1	64,47 ⁱ ± 0,23	10,25 ^c ±0,17	16,76 ^f ±0,13
	2	65,77 ^h ± 0,17	13,25 ^a ±0,08	17,74 ^{de} ±0,14
	3	67,55 ^f ±0,19	11,82 ^b ±0,09	17,29 ^{ef} ±0,18
	4	66,46 ^g ±0,21	9,48 ^e ±0,20	18,04 ^{de} ±0,14
90°C	1	67,61 ^f ±0,19	9,16 ^f ±0,07	18,36 ^d ±0,07
	2	69,66 ^d ±0,14	9,63 ^d ±0,13	19,71 ^c ±0,14
	3	70,60 ^c ±0,22	8,29 ^h ±0,12	20,77 ^c ±0,74
	4	68,53 ^c ±0,13	7,62 ⁱ ±0,14	22,65 ^a ±0,10
100°C	1	65,7 ^h ±0,27	8,50 ^g ±0,13	21,68 ^b ±0,10
	2	74,59 ^a ±0,29	7,45 ^j ±0,12	23,14 ^a ±0,10
	3	72,52 ^b ± 0,35	7,68 ⁱ ±0,12	21,23 ^{cd} ±0,12
	4	69,53 ^d ±0,34	6,89 ^k ±0,05	20,80 ^c ±0,13

Ghi chú: Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị khác biệt có ý nghĩa của các nghiệm thức khảo sát ở mức độ tin cậy 95% theo phép thử LSD.

Kết quả ghi nhận cho thấy xử lý nhiệt ở 100°C trong thời gian 2 phút giúp duy trì màu vàng ngà và độ sáng đặc trưng của sản phẩm.

3.3.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian chần đến các hoạt tính sinh học có trong sản phẩm trà gừng túi lọc

Hàm lượng flavonoid trong sản phẩm trà gừng bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ và thời gian chần. Kết quả ở Bảng 5 cho thấy hàm lượng flavonoid có xu hướng tăng từ chế độ xử lý nhiệt 80°C đến 100°C ở thời gian xử lý lần lượt là 1 phút và 2 phút (cụ thể là chế độ xử lý nhiệt 90°C ở phút thứ 1 và phút thứ 2 hàm lượng TFC tăng từ 17,86 mg QE/100 g CKNL lên 19,63 mg QE/100 g CKNL nhưng ở phút thứ 3 và phút thứ 4 thì hàm lượng này lại giảm lần lượt còn 18,84 mg QE/100 g CKNL và 17,45 mg QE/100 g CKNL. Ở chế độ xử lý nhiệt 100°C cũng giống vậy, hàm lượng TFC tăng từ phút thứ 1 lên phút thứ 2 lần lượt là 20,21 mg QE/100 g CKNL lên 21,034 mg QE/100 g CKNL và giảm đến phút thứ 3 và phút thứ 4, lần lượt còn 19,69 mg QE/100 g CKNL và 18,29 mg QE/100 g CKNL. Thông thường, quá trình gia nhiệt ở một nhiệt độ nhất định sẽ làm giảm hàm lượng flavonoid do nhiệt sẽ phá huỷ một số hợp chất flavonoid. Tuy nhiên, hàm lượng flavonoid tổng số có xu hướng tăng do trong hầu hết các loại rau quả, các hợp chất flavonoid và quercetin chứa liên kết C-glycoside và chúng tồn tại dưới dạng dimers hoặc oligomers, dưới tác động của quá trình chế biến nhiệt thường dẫn đến hình thành các dạng đơn phân

từ do quá trình thủy phân liên kết C-glycoside (Sharma et al., 2015). Tuy nhiên, Bảng 5 cho thấy, khi tăng thời gian gia nhiệt lên 3 phút và 4 phút thì hàm lượng flavonoid có xu hướng giảm do flavonoid cũng sẽ giảm bởi suy thoái do nhiệt. Như vậy, ở chế độ xử lý nhiệt 100°C trong thời gian 2 phút cho ra sản phẩm có hàm lượng flavonoid cao nhất.

Quá trình chần cũng ảnh hưởng đến hàm lượng polyphenol tổng trong gừng. Hàm lượng này trong sản phẩm trà gừng đạt giá trị cao nhất khi chần ở nhiệt độ 100°C trong thời gian 2 phút là 6,140 mg GAE/g CKNL. Khi nhiệt độ chần càng thấp và thời gian chần ngắn hơn hoặc dài hơn đều cho kết quả hàm lượng polyphenol tổng thấp hơn. Ảnh hưởng của nhiệt độ cao trong sự phóng thích phenolic từ các hợp chất phenol ở dạng liên kết, sự chuyển hoá hợp chất phenolic ở dạng không hoà tan thành dạng hoà tan, sự phân huỷ của lignin dẫn đến phóng thích dẫn xuất acid phenolic hoặc làm phát sinh thêm phenolic mới đều cần phải xem xét (Jeong et al., 2004). Nghiên cứu của Priecina and Karolina (2013) cũng kết luận rằng chần là hoạt động tiền xử lý hiệu quả trước khi trích ly, hàm lượng polyphenol trích ly từ các mẫu rau chần tăng gấp 1,68 đến 2,85 lần. Nghiên cứu của Halvorsen et al. (2006) cũng cho thấy sự gia tăng hàm lượng chất này khi xử lý nhiệt. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng nhiệt độ và thời gian chần thì hàm lượng có xu hướng giảm do xuất hiện sự suy thoái của các hợp chất phenolic. Nghiên cứu của Ross et al. (2011) cho thấy sau khi xử lý bột

hạt nhỏ ở nhiệt độ 180°C trong 10 phút thì hàm lượng polyphenol giảm đáng kể, nhóm tác giả cho rằng nguyên nhân chủ yếu là do các hợp chất này bị suy thoái bởi nhiệt.

Kết quả ở Bảng 5 cho thấy khả năng chống oxy hoá của gừng cũng bị ảnh hưởng mạnh mẽ bởi nhiệt độ và thời gian chần. Kết quả được theo dõi cho thấy hoạt tính chống oxy hoá của sản phẩm trà gừng có xu hướng tăng lên theo chế độ xử lý nhiệt từ 80°C đến 100°C. Ở chế độ xử lý nhiệt 100°C, khả năng kháng oxy hoá tăng lên ở phút thứ 1 và thứ 2 (TEAC tăng từ 21,48 $\mu\text{mol TE/g CKNL}$ lên 22,10 $\mu\text{mol TE/g CKNL}$). Tuy nhiên, khi tăng thời gian chần lên 3 phút và 4 phút thì khả năng kháng oxy hoá của sản phẩm có xu hướng giảm, giảm lần lượt còn 21,07 $\mu\text{mol TE/g CKNL}$ và 20,548 $\mu\text{mol TE/g CKNL}$.

CKNL. Kết quả này tương tự với kết quả của Amin and Lee (2005), việc chần 5-10 phút trong nước nóng ở 98°C sẽ làm giảm hoạt động chống oxy hoá của tất cả các loại rau trừ bắp cải và mù tạt. Sự gia tăng này do quá trình xử lý nhiệt hình thành các hợp chất mới có tính chống oxy hoá, chẳng hạn như melanoidins sinh ra bởi phản ứng Maillard (Wang et al., 2011). Như vậy, khả năng chống oxy hoá của gừng đạt giá trị cao nhất ở chế độ xử lý nhiệt 100°C trong 2 phút.

Như vậy, nhiệt độ và thời gian chần thay đổi sẽ ảnh hưởng đến màu sắc và hàm lượng các hoạt chất sinh học có trong sản phẩm. Gừng được chần ở nhiệt độ 100°C trong 2 phút giúp sản phẩm có chất lượng ổn định hơn so với các chế độ chần khác.

Bảng 5. Ảnh hưởng của nhiệt độ, thời gian chần đến hoạt tính sinh học có trong trà gừng túi lọc

Nhiệt độ (°C)	Thời gian (phút)	Hàm lượng polyphenol tổng TPC (mg GAE/g CKNL)	Hàm lượng flavonoid tổng TFC (mg QE/100g CKNL)	Hoạt tính kháng oxy hoá TEAC ($\mu\text{mol TE/g CKNL}$)
80°C	1	5,30 ^{fg} ±0,06	15,23 ^h ±0,43	17,94 ^h ±0,22
	2	5,48 ^{de} ±0,07	15,97 ^g ±0,39	18,42 ^g ±0,28
	3	5,16 ^{ghi} ±0,04	14,10 ⁱ ±0,42	19,32 ^f ±0,19
	4	5,04 ^{hi} ±0,07	12,73 ⁱ ±0,12	17,23 ⁱ ±0,27
90°C	1	5,38 ^{ef} ±0,12	17,86 ^{ef} ±0,14	19,87 ^e ±0,24
	2	5,58 ^d ±0,14	19,63 ^c ±0,14	19,26 ^f ±0,21
	3	5,18 ^{gh} ±0,11	18,84 ^d ±0,12	20,43 ^d ±0,25
	4	4,99 ⁱ ±0,09	17,45 ^f ±0,20	21,06 ^c ±0,13
100°C	1	5,96 ^b ±0,13	20,21 ^b ±0,27	21,48 ^b ±0,11
	2	6,14 ^a ±0,12	21,03 ^a ±0,14	22,10 ^a ±0,14
	3	5,77 ^c ±0,08	19,69 ^c ±0,15	21,07 ^c ±0,16
	4	5,44 ^{def} ±0,15	18,29 ^c ±0,54	20,55 ^d ±0,18

Ghi chú: Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị khác biệt có ý nghĩa của các nghiệm thức khảo sát ở mức độ tin cậy 95% theo phép thử LSD.

3.4. Ảnh hưởng của nồng độ muối ngâm chất lượng của sản phẩm trà gừng túi lọc

3.4.1. Ảnh hưởng của nồng độ muối ngâm đến màu sắc và độ hoạt động của nước trong sản phẩm

Muối tạo áp suất thẩm thấu giúp cho việc loại bỏ vị cay dễ dàng hơn. Đồng thời sự hiện diện của các ion cũng làm gia tăng khả năng hoà tan của một số hợp chất thuộc nhóm polyphenol (Tùng và ctv., 2023). Ảnh hưởng của quá trình ngâm muối ở các nồng độ khác nhau cùng quá trình sấy loại bỏ nước tự do dẫn đến độ hoạt động của nước và màu sắc sản phẩm cũng thay đổi (Bảng 6).

Bảng 6 cho thấy độ hoạt động của nước (a_w) trong sản phẩm trà gừng tương đối thấp và a_w giảm đều khi tăng nồng độ muối từ 0,5% đến 2%. Cần lưu

ý là độ ẩm của sản phẩm cố định là 10%. Sự thay đổi a_w trong trường hợp này có thể bị ảnh hưởng bởi các thành phần chất khô còn giữ lại trong sản phẩm. Khi sấy các mẫu đến cùng một giá trị độ ẩm cuối thì mẫu ngâm ở nồng độ muối càng cao có giá trị a_w càng thấp và ngược lại. Như vậy, ngoài việc giảm giá trị a_w của sản phẩm bằng cách loại bỏ nước trong nguyên liệu, việc bổ sung các thành phần chất tan được xem như là một trong những phương thức hữu hiệu để giảm giá trị a_w mà không cần giảm độ ẩm sản phẩm đến mức quá thấp (Mười & Trúc, 2008). Tuy nhiên, ở các nghiệm thức đều có sự khác biệt về mặt ý nghĩa thống kê nhưng giá trị a_w ở tất cả các mẫu thu nhận là rất thấp và thoả mãn cho quá trình bảo quản. Nghiên cứu của Tú và ctv. (2004) cũng cho rằng giá trị a_w của sản phẩm càng giảm, càng thuận lợi cho quá trình bảo quản sản phẩm về phương diện vi sinh vật lẫn chất lượng sản phẩm.

Bên cạnh đó, Bảng 6 cũng cho thấy nồng độ muối ngâm cũng có ảnh hưởng đến màu sắc của sản phẩm trà gừng. Độ sáng (L^*) của sản phẩm trà gừng giảm dần khi tăng nồng độ muối từ 0,5% lên 2%. Tuy nhiên, khi tăng nồng độ muối lên thì độ màu b^* (thay đổi từ xanh da trời đến vàng) có xu hướng tăng nhưng độ màu a^* (từ xanh lá đến đỏ) của sản phẩm giảm. Điều đó cho thấy rằng ở nồng độ muối 2% thì gừng có màu vàng đặc trưng. Bảng 6 cũng cho thấy rằng nồng độ muối tác dụng tích cực lên màu sắc của sản phẩm nhưng ở một nồng độ nhất định, nếu hàm lượng muối tăng cao thì độ sáng L^* có thể sẽ giảm dần và độ màu b^* tăng dần do hiện tượng thẩm thấu, nước bên trong sẽ di chuyển ra bên ngoài sẽ dẫn đến mất nước bề mặt nên độ sáng giảm dần và màu vàng đậm dần lên.

Bên cạnh đó, nồng độ muối tác động đến cảm quan sản phẩm cho thấy việc ngâm gừng trong dung dịch muối trước khi sấy. Về mùi, vị và độ trong của sản phẩm thì ở nồng độ muối ngâm 1% có điểm cảm quan cao về mùi, vị cao hơn nồng độ khác. Khi gừng được ngâm ở 2% NaCl cho thấy sản phẩm có màu tốt. Điều này có thể giải thích khi ngâm trong nồng độ muối NaCl cao thì khả năng ức chế hoạt động enzyme PPO tốt hơn nồng độ muối còn lại, nhưng sản phẩm có vị hơi mặn và ảnh hưởng đáng kể đến cảm quan sản phẩm. Do đó, tiền xử lý nguyên liệu với muối NaCl phải có giới hạn nhất định về nồng độ sử dụng.

Bảng 6. Ảnh hưởng của nồng độ muối ngâm đến màu sắc (L^* , a^* , b^*) và độ hoạt động của nước

Nồng độ muối NaCl ngâm (%)	Màu sắc			Độ hoạt động của nước
	Độ sáng L^*	Độ màu a^*	Độ màu b^*	
0,5	70,32 ^a ±0,25	9,51 ^a ±0,26	17,35 ^d ±0,40	0,57 ^a ±0,01
1,0	68,62 ^b ±0,21	8,60 ^b ±0,23	18,63 ^c ±0,37	0,55 ^b ±0,01
1,5	66,47 ^c ±0,22	6,52 ^c ±0,34	20,27 ^b ±0,14	0,53 ^c ±0,01
2,0	65,57 ^d ±0,26	6,13 ^d ±0,21	21,51 ^a ±0,22	0,51 ^d ±0,01

Ghi chú: Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị khác biệt có ý nghĩa của các nghiệm thức khảo sát ở mức độ tin cậy 95% theo phép thử LSD.

3.4.2. Ảnh hưởng của nồng độ muối ngâm đến hàm lượng các hoạt tính sinh học có trong sản phẩm trà gừng túi lọc

Trong quá trình ngâm muối, sự thẩm thấu của muối vào sản phẩm cũng như sự di chuyển của nước từ trong tế bào ra ngoài cũng sẽ ảnh hưởng mạnh mẽ đến các hoạt chất sinh học có trong sản phẩm, kết quả được ghi nhận ở Bảng 7.

Kết quả ở Bảng 7 cho thấy hàm lượng polyphenol tổng có xu hướng tăng lên và đạt giá trị cao nhất ở nồng độ muối 1% (hàm lượng polyphenol tổng đạt 7,16 mg GAE/g CKNL ở nồng độ 1%), nhưng khi tăng nồng độ muối đến 1,5% và 2% thì hàm lượng này lại giảm, lần lượt còn 6,142 mg GAE/g CKNL và 5,12 mg GAE/g CKNL. Sự giảm hàm lượng polyphenol tổng có thể được giải thích do hàm lượng muối cao thì sự vỡ tế bào xảy ra nhanh chóng phá huỷ một số hợp chất polyphenol làm giảm hàm lượng chất này.

Hàm lượng flavonoid trong sản phẩm cũng bị ảnh hưởng bởi nồng độ muối ngâm. Bảng 7 cho thấy hàm lượng này tăng từ nồng độ muối 0,5% lên 1%

(hàm lượng này đạt giá trị 19,04 mg QE/100 g CKNL ở 0,5% muối ngâm và tăng lên 21,59 mg QE/100 g CKNL ở nồng độ 1%), nhưng khi tăng nồng độ muối lên 1,5% và 2% thì hàm lượng flavonoid có xu hướng giảm dần, lần lượt còn 20,82 mg QE/100 g CKNL và 20,07 mg QE/100 g CKNL. Điều này có thể giải thích do trong quá trình ngâm thẩm thấu, tế bào ở dạng ưu trương, khi nồng độ tăng cao tế bào sẽ trương nở cực đại và vỡ ra làm giải phóng một số hợp chất nằm trong không bào do đó làm giảm hàm lượng flavonoid trong sản phẩm.

Hoạt tính chống oxy hoá của trà gừng cũng bị ảnh hưởng bởi nồng độ muối ngâm. Bảng 7 cũng cho thấy hoạt tính chống oxy hoá của trà gừng có xu hướng giảm dần khi tăng nồng độ muối (TEAC giảm từ 23,29 $\mu\text{mol TE/g CKNL}$ ở nồng độ muối 0,5% và giảm còn 20,75 $\mu\text{mol TE/g CKNL}$ ở nồng độ muối 2%). Sự giảm hoạt tính chống oxy hoá do khi ở nồng độ muối càng cao thì tế bào nguyên liệu ở trạng thái ưu trương vì thế mà khi tăng nồng độ quá cao nó sẽ trương nở và tế bào dễ bị vỡ ra làm cho một số hoạt chất tan trong nước giải phóng ra ngoài làm giảm hoạt chất chống oxy hoá.

Bảng 7. Ảnh hưởng của nồng độ muối ngâm đến màu sắc (L*, a*, b*) và độ hoạt động của nước

Nồng độ muối ngâm (%)	Hàm lượng polyphenol tổng GAE/g CKNL	Hàm lượng flavonoid tổng QE/100g CKNL	Hoạt tính kháng oxy hoá TEAC (µmol TE/g CKNL)
0,5	5,49 ^c ±0,24	19,04 ^d ±0,13	23,29 ^a ±0,08
1,0	7,16 ^a ±0,16	21,59 ^a ±0,18	22,73 ^b ±0,06
1,5	6,14 ^b ±0,41	20,82 ^b ±0,20	21,84 ^c ±0,13
2,0	5,12 ^c ±0,27	20,07 ^c ±0,47	20,75 ^d ±0,11

Ghi chú: Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị khác biệt có ý nghĩa của các nghiệm thức khảo sát ở mức độ tin cậy 95% theo phép thử LSD.

4. KẾT LUẬN

Gừng được ngâm trong dung dịch acid citric 2% với tỷ lệ dung dịch acid citric ngâm với nguyên liệu là 1:3 (w/v) cho kết quả tích cực đến việc làm sáng màu của sản phẩm. Chế độ chân thích hợp ở nhiệt độ 100°C trong 2 phút giúp duy trì màu sắc tốt nhất đồng thời duy trì hàm lượng các hoạt chất sinh học trong gừng. Ngâm gừng trong dung dịch muối 1%

sau quá trình chân với tỷ lệ dung dịch muối ngâm với nguyên liệu là 1:3 (w/v) giúp sản phẩm giữ được màu đặc trưng và hạn chế sự tổn thất hoạt tính sinh học so với ngâm gừng ở các nồng độ muối còn lại.

LỜI CẢM ƠN

Đề tài này được tài trợ bởi Trường Đại học Cần Thơ thông qua đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở năm 2023 (mã số: T2023-183).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Abu-Ghannam, N., & Jaiswal, A. K. (2015). Blanching as a treatment process: Effect on polyphenols and antioxidant capacity of cabbage. In: Preedy V. (Ed.), *Processing and impact on active components in food* (pp. 35-43). Elsevier/Academic Press, London, UK. doi:10.1016/B978-0-12-404699-3.00005-6

Ali, B. H., Blunden, G., Tanira, M. O., & Nemmar, A. (2008). Some phytochemical, pharmacological and toxicological properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): A review of recent research. *Food and Chemical Toxicology*, 46, 409-420.

Amin, I., & Lee, W. Y. (2005). Effect of different blanching times on antioxidant properties in selected cruciferous vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 2314-2320. doi: 10.1002/jsfa.2261.

Cascais, M., Monteiro, P., Pacheco, D., Cotas, J., Pereira, L., João Carlos Marques, J. C., Gonçalves, A. M. M. (2021). Effects of Heat Treatment Processes: Health Benefits and Risks to the Consumer. *Applied Sciences*, 11(18), 8740. doi: 10.3390/app11188740.

Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in Propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178-182. doi: 10.38212/2224-6614.2748.

Fatemeh, S. R., Saifullah, R., Abbas, F. M. A., & Azhar, M. E. (2012). Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of banana pulp and peel flours: Influence of variety and stage of ripeness. *International Food Research Journal*, 19(3), 1041-1046.

Halvorsen, B. L., Monica, H. C., Katherine. M. P., Bøhn, S. K., Holte, K., David, R. J., & Blomhoff, R. (2006). Content of redox-active compounds (ie, antioxidants) in foods consumed in the United States. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 84(1), 95-135. doi: 10.1093/ajcn/84.1.95.

Jeong, S. M., Kim, S. Y., Kim, D. R., Jo, S. C., Nam, K. C., Ahn, D. U., & Lee, S. C. (2004). Effect of heat treatment on the antioxidant activity of extracts from citrus peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(11), 3389-3393. doi: 10.1021/jf049899k.

Kim, D., Park, J., Kim, J., Han, C., Yoon, J., Kim, N., Seo, J., & Lee, C. (2006). Flavonoids as mushroom tyrosinase inhibitors: a fluorescence quenching study. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(3), 935-941. https://doi.org/10.1021/jf0521855.

Mười, N. V. & Trúc, T. T. (2008). Ảnh hưởng của việc bổ sung các thành phần chất tan đến độ hoạt động của nước trong khô cá sặc rằn (*Trichogaster pectoralis* Regan). *Tạp chí khoa học Đại học Cần Thơ*, 10, 151-160.

Nourian, F., Hosahalli, S. R., & Kushalappa, A. C. (2003). Kinetics of quality change associated with potatoes stored at different temperatures. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 36(1), 49-65. doi: 10.1016/S0023-6438(02)00174-3.

- Premakumari, K. B., Siddiqua, A., Sultana, R., & Savitha, V. (2010). Antioxidant activity and estimation of total phenolic content of muntingia calabura by colorimetry. *International Journal of ChemTech Research*, 2(10), 205-208.
- Priecina, L., & Karklina, D. (2013). Total polyphenols, flavonoids, and antiradical activity of vegetables dried in convective and microwave-vacuum driers. *Livestock Research for Rural Development*, 1, 98-103.
- Rastogi, N. K., Raghavarao, K., Niranjana, K., & Knorr, D. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: Methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science and Technology*, 13(2), 48-59. doi: 10.1016/S0924-2244(02)00032-8.
- Ross, C. F., Hoye, C., & Fernandez-Plotka, V. C. (2011). Influence of heating on the polyphenolic content and antioxidant activity of grape seed flour. *Journal of Food Science*, 76(6), C884-890. doi: 10.1111/j.1750-3841.2011.02280.x
- Sharma, K., Eun, Y. K., Awraris, D. A., Soyung, H., Shivraj, H. N., Lee, E. T., & Park, S. W. (2015). Temperature-dependent studies on the total phenolics, flavonoids, antioxidant activities, and sugar content in six onion varieties. *Journal of Food and Drug Analysis*, 23(2), 243-252. doi: 10.1016/j.jfda.2014.10.005.
- Styawan, A. A., Susidarti, R. A., Purwanto, Windarsih, A., Rahmawati, N., Sholikhah, I. K. M., & Rohman, A. (2022). Review on ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): phytochemical composition, biological activities, and authentication analysis. *Food Research* 6(4), 443-454. doi: 26656/fr.2017.6(4).50010.
- Thùy, N. M., Tài, N. V., Tuyền, N. T. M., & Dũng, Đ. A. (2016). Ảnh hưởng của quá trình thẩm thấu và chiên chân không đến các hợp chất có hoạt tính sinh học trong hành tím (*Allium cepa* L.) xắt lát. *Tạp chí khoa học trường Đại học Cần Thơ, Nông nghiệp*(1), 84-91. doi: 10.22144/ctu.jsi.2016.025.
- Tú, L. N., Chử, L. V., Thu, Đ. T., Thịnh, N. T., Hoi, B. Đ., & Diên, L. D. (2004). *Hóa Sinh Công Nghiệp*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- Tùng, N. Đ., Nhạn, T. H. H., Thuận, N. V., Nguyễn Thị Kiều Tiên, N. T. K., Trần, T. N. N., & Ngọc, T. T. A. (2023). Ảnh hưởng của hóa chất và phương pháp xử lý đến loại bỏ vị đắng vỏ cam sành (*Citrus sinensis*) bổ sung vào sản phẩm marmalade. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, 59(4B), 155-163. doi: 10.22144/ctu.jos.2023.176
- Vijay, Y., Piyush, Y., Shradha, S., Mukesh, Y., & Shyam, N. G. (2021). A review of literature on Ginger. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 9(1), 2200-2206.
- Wang, H. Y., Qian, H., & Yao, W. R. (2011). Melanoidins produced by the Maillard reaction: Structure and biological activity. *Food Chemistry*, 128(3), 573-584. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.03.075.
- Yan, W., Ge, Z., & Xiong, L. (2020). Research on the Influence of Chinese Tea Technology on the World Tea Industry. *American Journal of Industrial and Business Management*, 10(1), 135-143. doi: 10.4236/ajibm.2020.101009.
- Yang, K., Pinker, R. T., Ma, Y., Koike, T., Wonsick, M. M., Cox, S. J., Zhang, Y. C., & Stackhouse, P. (2008). Evaluation of satellite estimates of downward shortwave radiation over the Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research*, 113, D17204. doi:10.1029/2007JD009736.
- Zhang, S. (2023). Recent Advances of Polyphenol Oxidases in Plants. *Molecules*, 28(5), 2158. doi: 10.3390/molecules28052158.
- Zhang, S., Xu, M., Zhang, W., Liu, C., & Siyu Chen, S. (2021). Natural Polyphenols in Metabolic Syndrome: Protective Mechanisms and Clinical Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(11), 6110. doi: 10.3390/ijms22116110.
- Zhou, M., Chen, J., Bi, J., Li, X., & Xin, G. (2022). The roles of soluble poly and insoluble tannin in the enzymatic browning during storage of dried persimmon. *Food Chemistry*, 366(2), 130632. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.130632.