An Giang University Journal of Science – 2019, Vol. 22 (1), 92 – 102

Tạp chí Khoa học Trường Đại học An Giang
ISSN 0866 - 8086

ẢNH HƯỞNG CỦA QUÁ TRÌNH XỬ LÝ NHIỆT ĐẾN ĐỘ NHỚT VÀ MỘT SỐ THÀNH PHẦN CÓ HOẠT TÍNH SINH HỌC CỦA XƯƠNG RỒNG NOPAL

Nguyễn Thị Thùy Dung[1], Hồ Thị Hồng Gấm[1], Nguyễn Thị Thùy Trang[1]
[1]*Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP. HCM*

Thông tin chung:
Ngày nhận bài: 10/09/2018
Ngày nhận kết quả bình duyệt: 09/11/2018
Ngày chấp nhận đăng: 02/2019

Title:
The effect of thermal treatment process on the viscosity and some of the bioactive compounds of Nopal cactus (Opuntia ficus - indica (L.) Mill)

Keywords:
Flavonoid, antioxidant activity, response surface methodology, polyphenol, Nopal cactus, vitamin C

Từ khóa:
Flavonoid, hoạt tính kháng oxy hóa, phương pháp bề mặt đáp ứng, polyphenol, xương rồng Nopal, vitamin C

ABSTRACT

The aim of this study was to assess the influence of blanching on the viscosity, the bioactive compounds (total polyphenol, total flavonoid, vitamin C) and antioxidant activitiy of Nopal cactus. Response surface methodology was applied to optimize temperature and time of blanching. The results showed that the optimal blanching process was obtained at 60,2 °C for 1,7 minutes. Consequently, viscosity, total polyphenol, total flavonoid, vitamin C and antioxidant activity of the material were 87,38 cP; 2,76 mg GAE/g, 0,125 mg QE/g; 0,121 mg/g and 19,17%, respectively.

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của biện pháp chần bằng nước nóng đến độ nhớt, hàm lượng các chất có hoạt tính sinh học (polyphenol tổng, flavonoid tổng, vitamin C) và hoạt tính kháng oxy hóa của xương rồng Nopal. Phương pháp bề mặt đáp ứng được sử dụng để tối ưu hóa nhiệt độ và thời gian chần. Kết quả nghiên cứu cho thấy, quá trình xử lý tối ưu đạt được ở nhiệt độ 60,2 °C trong 1,7 phút. Độ nhớt, hàm lượng polyphenol tổng, flavonoid tổng, vitamin C và hoạt tính kháng oxy hóa của nguyên liệu lần lượt là 87,38 cP; 2,76 mg GAE/g, 0,125 mg QE/g; 0,121 mg/g; 19,17% ức chế.

1. GIỚI THIỆU

Xương rồng Nopal có tên khoa học là *Opuntia ficus - indica* thuộc giới thực vật, bộ Caryophyllales, họ Cactaceae, chi *Opuntia*, phân chi *Opuntia*, loài *Opuntia ficus indica*. Xương rồng Nopal còn có tên gọi khác là xương rồng tai thỏ.

Xương rồng Nopal là loài cây thích nghi với khí hậu khô hạn và bán khô hạn ở các vùng nhiệt đới và cận nhiệt đới. Loài thực vật này đang được xem là một loại siêu thực phẩm nhờ giàu xơ, polyphenol, flavonoid, vitamin, acid béo không bão hòa và acid amin. Kết quả nghiên cứu của Romero và cs. (2014) đã chứng minh các thành phần trong xương rồng Nopal có nhiều hoạt động liên quan đến sinh học bao gồm kháng viêm, kháng oxy hóa, hạ đường huyết, chống nhiễm khuẩn và bảo vệ thần kinh. Nava, Oliver, Campos, Zou và Gu (2014) đã công bố nghiên cứu về khả năng kháng oxy hóa của nước ép xương rồng Nopal. Các hoạt chất kháng oxy hóa trong xương rồng Nopal như polyphenol, flavonoid, vitamin C đã được đề cập đến trong nghiên cứu của Mostafa và cs. (2014). Nghiên cứu của Kähkönen và cs. (1999) đã chứng minh rằng, polyphenol và flavonoid có khả năng dập tắt các gốc tự do, ngăn ngừa và điều trị nhiều bệnh liên quan đến quá trình oxy hóa, vì vậy góp phần cải thiện chất lượng và dinh dưỡng của thực phẩm. Tuy nhiên, xương rồng Nopal là loài thực vật có chứa một lượng lớn chất nhầy (bao gồm pectin) (Bayar, Kria & Kammoun, 2016; Lefsih & cs., 2016), đây chính là trở ngại trong việc ứng dụng nguyên liệu này vào sản xuất các sản phẩm thực phẩm. Trong các biện pháp được sử dụng để giảm nhầy, chần là biện pháp quan trọng, có ảnh hưởng lớn đến chất lượng và giá trị cảm quan, đồng thời giúp ổn định cấu trúc và màu sắc cho sản phẩm (Lê Mỹ Hồng & cs., 2009). Tuy nhiên, quá trình chần có thể làm ảnh hưởng đến các thành phần có hoạt tính sinh học và hoạt tính kháng oxy hóa vốn là đặc tính quý của xương rồng Nopal (Ramírez - Moreno & cs., 2013). Vì vậy, nghiên cứu về ảnh hưởng của quá trình xử lý này đến lượng chất nhầy (thể hiện thông qua độ nhớt) và các thành phần có hoạt tính sinh học được thực hiện nhằm xác định điều kiện xử lý tốt nhất để nguyên liệu giảm nhầy nhưng vẫn giữ được các thành phần có hoạt tính quý.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Vật liệu

Nghiên cứu sử dụng lá xương rồng Nopal được thu hoạch tại xã Tân Hiệp, huyện Tân Hiệp, tỉnh Kiên Giang. Lá non có chiều dài ≤ 13 cm, màu xanh, gai nhỏ và ngắn hoặc không có gai, độ dày ≤ 1 cm. Lá giữa có chiều dài 17 cm ÷ 20 cm, màu xanh đậm, nằm dưới lá non, độ dày lá khoảng (2 ± 0,5) cm. Lá già có chiều dài 23 ÷ 25 cm, màu xanh vàng, nằm gần gốc, cứng, nhiều xơ, độ dày ≥ 2,5 cm. Lá sau khi thu hoạch được làm sạch và lưu trữ trong tủ lạnh có nhiệt độ 4 ^oC ÷ 6 ^oC để tiến hành nghiên cứu.

2.2 Phương pháp nghiên cứu

Lá xương rồng Nopal sau khi lấy khỏi tủ lạnh được để 1 giờ ở nhiệt độ thường, sau đó được cắt thành từng miếng có khối lượng (5 ± 1) g.

2.2.1 Khảo sát đánh giá và lựa chọn nguyên liệu

Các mẫu xương rồng gồm lá già, lá giữa, lá non được xay bằng máy xay Philip HR2120 và lọc qua rây có kích thước lỗ 0,015 mm để thu puree; puree được xử lý để xác định hàm lượng polyphenol tổng, flavonoid tổng, vitamin C và hoạt tính kháng oxy hóa.

Xử lý mẫu để xác định polyphenol tổng và flavonoid tổng: cân 10 g puree, trích ly với 50 mL methanol : nước với tỉ lệ 1 : 1, khuấy hỗn hợp trong 1 giờ, hỗn hợp được lọc qua giấy lọc, dịch lọc được lưu trữ ở trong ngăn đông tủ lạnh và bã lọc được trích ly với 50 mL acetone : nước với tỉ lệ 7 : 3, khuấy hỗn hợp trong 1 giờ và lọc qua giấy lọc, dịch lọc được lưu trữ và bã tiếp tục được trích ly với 50 mL nước, khuấy hỗn hợp trong 30 phút, lọc thu dịch và loại bã. Gộp chung tất cả dịch lọc và định mức đến thể tích 200 mL. Dịch lọc thu được dùng để xác định polyphenol tổng và flavonoid tổng (Santiago & cs., 2018).

Xử lý mẫu để xác định hàm lượng vitamin C: cân 10 g puree, trích ly với 50 mL nước cất, định mức lên 100 mL rồi lọc qua giấy lọc. Dịch lọc được dùng để xác định hàm lượng vitamin C (Marfil, Santos & Telis, 2008).

Xử lý mẫu để xác định hoạt tính kháng oxy hóa: cân 10 g puree, trích ly với 40 mL methanol, khuấy hỗn hợp trong 30 phút, định mức 50 mL bằng methanol, sau đó lọc hỗn hợp. Dịch lọc được dùng để xác định hoạt tính kháng oxy hóa (Thaipong, Boonprakob, Crosby, Cisneros - Zevallos & Byrne, 2006).

2.2.2 Khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ chần

Mẫu xương rồng được chọn từ thí nghiệm 2.2.1 được chần trong nước nóng ở các nhiệt độ 55 ^oC, 60 ^oC, 65 ^oC, 70 ^oC và 75 ^oC trong thời gian 1 phút. Nguyên liệu sau khi chần được xử lý tương tự thí nghiệm 2.2.1 để xác định độ nhớt, hàm lượng polyphenol tổng, flavonoid tổng, vitamin C và hoạt tính kháng oxy hóa.

2.2.3 Khảo sát ảnh hưởng của thời gian chần

Mẫu xương rồng được chần trong nước nóng ở nhiệt độ được xác định từ thí nghiệm 2.2.2 trong thời gian 1, 2, 3 và 4 phút. Nguyên liệu sau khi chần được xử lý tương tự thí nghiệm 2.2.1 để xác định độ nhớt, hàm lượng polyphenol tổng, flavonoid tổng, vitamin C và hoạt tính kháng oxy hóa.

2.2.4 Tối ưu hóa quá trình xử lý nhiệt

Dựa trên các kết quả trong thí nghiệm 2.2.2 và 2.2.3, tối ưu hóa quá trình chần với thông số nhiệt độ và thời gian xử lý tốt nhất ở mỗi thí nghiệm trước nhằm tiếp tục khảo sát sự tương tác giữa nhiệt độ, thời gian và sự ảnh hưởng đồng thời của hai yếu tố này đến độ nhớt và các thành phần có hoạt tính sinh học. Phương pháp đáp ứng bề mặt với mô hình trực giao cấp hai có tâm xoay được sử dụng để tối ưu hóa các điều kiện xử lý.

2.3 Phương pháp phân tích

- *Hàm lượng polyphenol tổng:* phương pháp so màu với thuốc thử Folin – Ciocalteau (Agbor, Vinson & Donnelly, 2014).

- *Hàm lượng flavonoid tổng:* phương pháp so màu dựa trên phản ứng của nhôm với flavonoid trong môi trường kiềm tạo thành các chelates màu đỏ (Zhishen, Mengcheng & Jianming, 1999).

- *Hàm lượng vitamin C:* phương pháp chuẩn độ, sử dụng thuốc thử DCPIP (2,6 – dichloroindophenol) (Marfil, Santos & Telis, 2008).

- *Khả năng kháng oxy hóa:* phương pháp DPPH (1,1 – diphenyl – 2 – picrylhydrazyl) dựa vào khả năng bắt gốc tự do DPPH của chất có tác dụng kháng oxy hóa (Thaipong, Boonprakob, Crosby, Cisneros-Zevallos & Byrne, 2006).

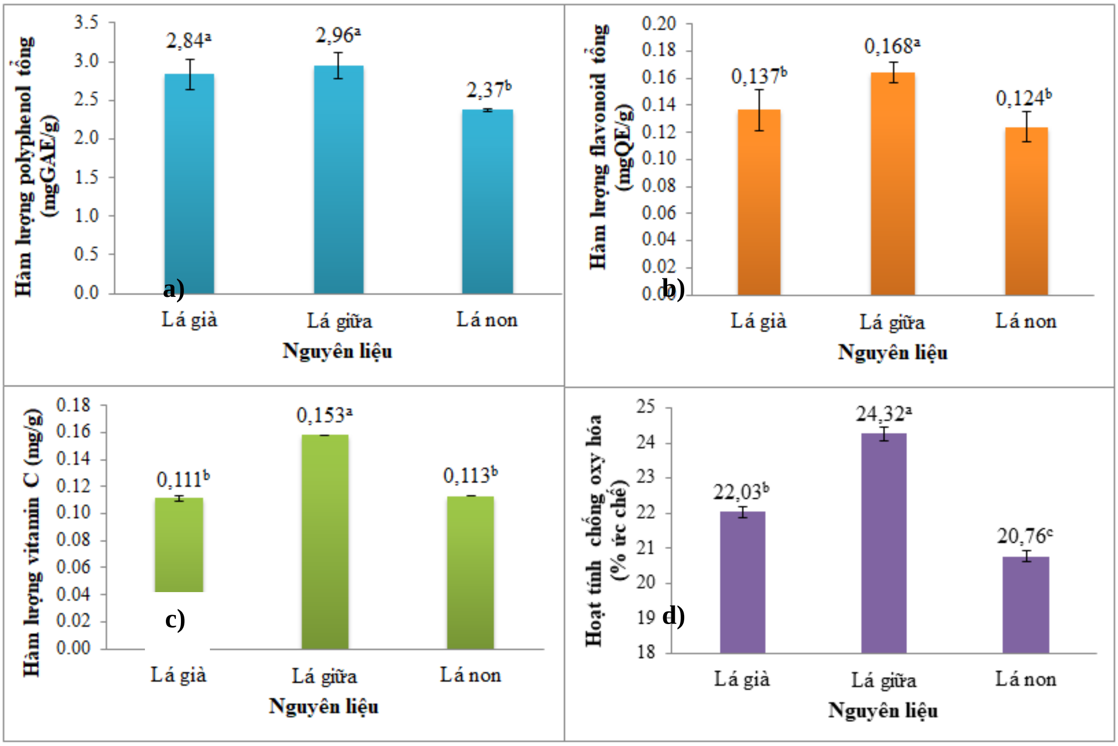
- *Độ nhớt:* phương pháp thử Brookfiel theo tiêu chuẩn Việt Nam [TCVN] 4859 – 2013.

2.4 Phương pháp xử lý số liệu

Trong nghiên cứu, mỗi thí nghiệm tiến hành lặp lại 3 lần, kết quả được trình bày ở dạng giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn. Đánh giá sự khác biệt có ý nghĩa giữa các mẫu thí nghiệm được thực hiện bằng phương pháp thống kê ANOVA một chiều (α = 5%) trên phần mềm Statgraphic. Thiết kế thí nghiệm và xử lý kết quả tối ưu hóa được thực hiện bằng phần mềm Modde 5.0.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Đánh giá và lựa chọn nguyên liệu



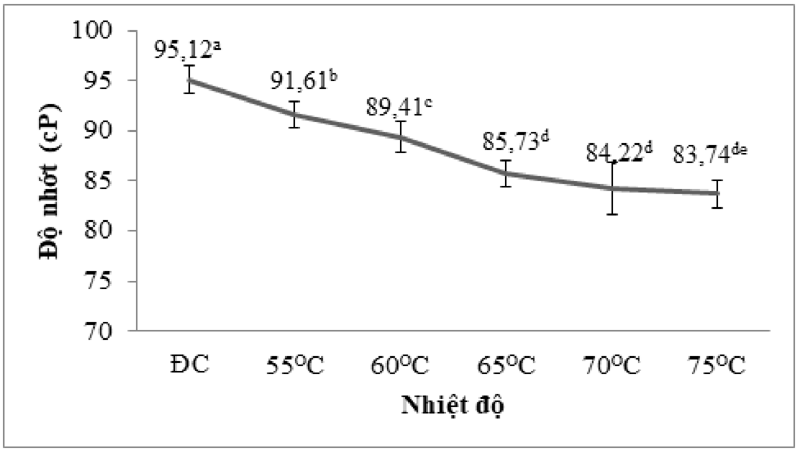
Hình 1. Đồ thị thể hiện kết quả khảo sát hàm lượng các hoạt chất sinh học của lá xương rồng Nopal

a) Hàm lượng polyphenol tổng (mg GAE/g); b) Hàm lượng flavonoid tổng (mg QE/g);
c) Hàm lượng vitamin C (mg/g); d) Hoạt tính chống oxy hóa (% ức chế)

[a, b, c]: thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa về mặt thống kê theo phân tích ANOVA (α=5%).

Đối với mỗi loài thực vật khác nhau, ở những giai đoạn sinh trưởng khác nhau thì hàm lượng các chất có hoạt tính sinh học sẽ khác nhau. Kết quả ở Hình 1 cho thấy, hàm lượng polyphenol tổng, flavonoid tổng, vitamin C và khả năng kháng oxy hóa của lá xương rồng Nopal giữa cao hơn so với lá già và lá non. Cụ thể, hàm lượng polyphenol của lá giữa là (2,96 ± 0,163) mg GAE/g, hàm lượng flavonoid (0,168 ± 0,012) mg QE/g, hàm lượng vitamin C (0,153 ± 0,004) mg/g. Kết quả trên tương đồng với nghiên cứu của Corral - Aguayo và cs. (2008) đối với loài *Opuntia ficus indica* Milpa Alta cho kết quả hàm lượng polyphenol tổng 3,08 mg GAE/g, Santiago và cs. (2018) công bố hàm lượng flavonoid tổng của xương rồng Nopal là (0,126 ± 0,100) mg QE/g, Teles (1977) công bố hàm lượng vitamin C có trong xương rồng (0,140 ± 0,058) mg/g nguyên liệu tươi. Hoạt tính kháng oxy hóa của xương rồng Nopal khi so sánh với các loài thực vật khác được Nava và cs. (2014) công bố như sau: cà phê > tỏi > nopal > mận > hạt chia. Kết quả cho thấy, lá giữa xương rồng Nopal là nguyên liệu có giá trị về mặt sinh học; nguyên liệu này còn có thể thu hoạch với khối lượng lớn nhất trên cây vì vậy được chọn làm đối tượng cho các khảo sát tiếp theo.

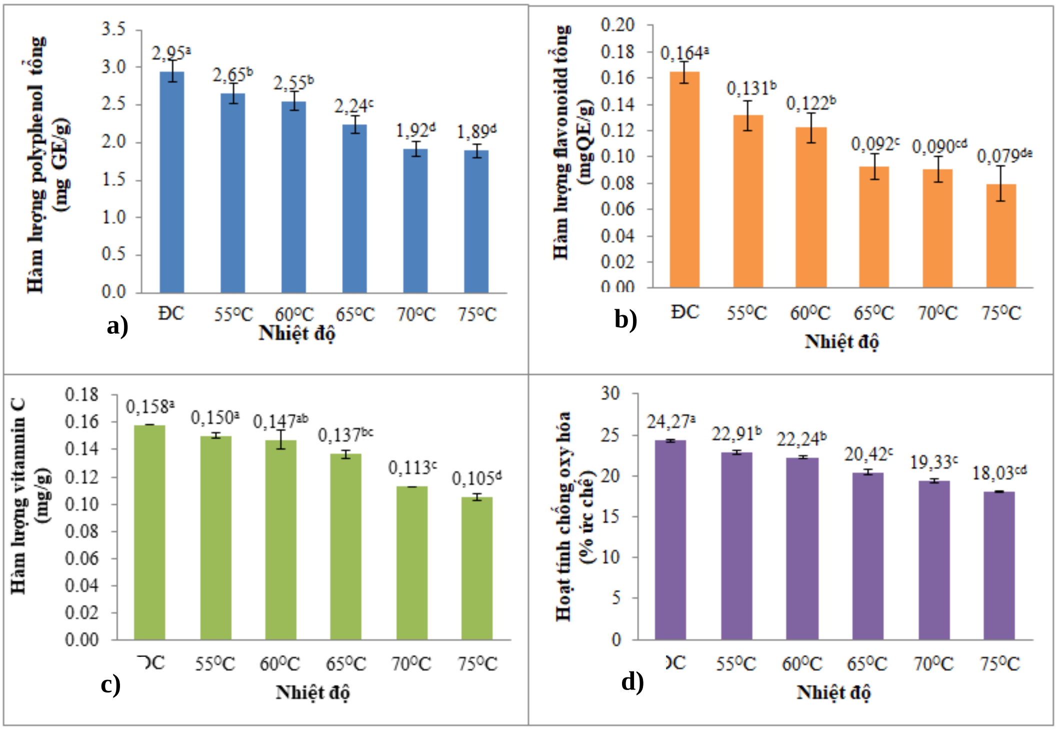
3.2 Ảnh hưởng của nhiệt độ chần đến độ nhớt, hàm lượng các hoạt chất sinh học và khả năng kháng oxy hóa



Hình 2. Đồ thị thể hiện ảnh hưởng của nhiệt độ chần đến độ nhớt

a, b, c, d, e: thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa về mặt thống kê theo phân tích ANOVA (α = 5%).

Quá trình chần được thực hiện nhằm làm giảm lượng chất nhầy trong xương rồng. Hình 2 cho thấy, độ nhớt của xương rồng giảm dần khi nhiệt độ chần tăng từ (55 ÷ 75) ^oC. Khi nhiệt độ chần tăng đến 65 ^oC, độ nhớt của nguyên liệu giảm mạnh so với mẫu đối chứng (ĐC) (mẫu không chần); cụ thể, độ nhớt giảm từ (95,12 ± 1,34) cP xuống (85,73 ± 0,135) cP. Khi nhiệt độ chần tiếp tục tăng từ 65 ÷ 75 ^oC thì độ nhớt giảm không đáng kể (khác biệt không có ý nghĩa về mặt thống kê). Nguyên nhân của sự thay đổi này là do chất nhầy có trong chất xơ hòa tan (bao gồm pectin), nhiệt độ giúp kích hoạt enzyme pectin methylesterase và tác động đến độ ester hóa của pectin, từ đó làm ảnh hưởng đến độ nhớt của nguyên liệu (Tang & McFeeters, 1983). Chất nhầy hòa tan cũng có thể được tách ra khi gặp nước và nhiệt độ là nhân tố quan trọng quyết định thời gian hòa tan dài hay ngắn. Nhiệt độ nước tăng, khả năng hòa tan của chất nhầy tăng. Tuy nhiên, khi nhiệt độ tăng đến một giá trị nhất định thì khả năng hòa tan của chất nhầy tăng thêm không đáng kể và theo đó độ nhớt cũng ít thay đổi. Như vậy, nhiệt độ thích hợp để xử lý giảm nhớt cho nguyên liệu xương rồng trong nghiên cứu này không nên cao hơn 65 ^oC.



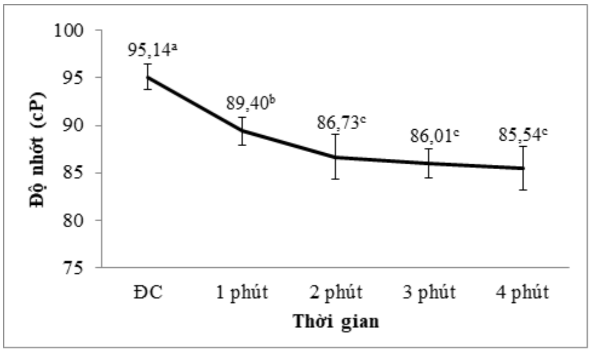
Hình 3. Đồ thị thể hiện ảnh hưởng của nhiệt độ chần đến hàm lượng các hoạt chất sinh học

a) Hàm lượng polyphenol tổng (mg GAE/g); b) Hàm lượng flavonoid tổng (mg QE/g); c) Hàm lượng vitamin C (mg/g); d) Hoạt tính chống oxy hóa (% ức chế)

$^{a, b, c, d, e}$: *thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa về mặt thống kê theo phân tích ANOVA (α = 5%).*

Theo Hình 3, hàm lượng polyphenol tổng, flavonoid tổng, vitamin C và hoạt tính kháng oxy hóa của tất cả các mẫu sau khi chần đều giảm so với mẫu ĐC. Tuy nhiên, khi mẫu được chần ở nhiệt độ từ 60 ºC trở xuống thì sự khác biệt hầu như không có ý nghĩa về mặt thống kê. Nghiên cứu của Jaramillo - Flores và cs. (2003) cho thấy, polyphenol tổng trong xương rồng Nopal bao gồm dạng polyphenol liên kết với các hợp chất của thành tế bào, dạng hợp chất polyphenol tự do và liên hợp glycoside - polyphenol hòa tan. Khi xử lý nguyên liệu bằng nước nóng, polyphenol bị hòa tan, suy thoái và cấu trúc tế bào nguyên liệu bị phá hủy dẫn đến hàm lượng polyphenol tổng giảm (Jaramillo - Flores & cs., 2003; Ramírez - Moreno & cs., 2013). Một số hợp chất flavonoid bị khuếch tán vào nước và bị phân hủy bởi nhiệt độ, vì vậy nhiệt độ nước càng cao sự suy giảm flavonoid trong nguyên liệu càng mạnh (Faller & Fialho, 2008). Vitamin C là yếu tố ít bền vững, chất này không những hòa tan trong nước mà còn bị oxy hóa nhanh khi nhiệt độ xử lý tăng (Ramírez - Moreno & cs., 2013). Sự suy giảm các yếu tố dưới tác động của nước và nhiệt độ cao dẫn đến sự suy giảm hoạt tính kháng oxy hóa. Kết quả này tương tự nghiên cứu của Ramírez - Moreno và cs. (2013) đối với loài *Opuntia ficus indica* ở Mexico. Các nghiên cứu khoa học trên đối tượng xương rồng Nopal cho thấy rằng, khi xử lý nhiệt bằng nước nóng thì các thành phần có hoạt tính sinh học có thể giảm đến hơn 60% (Jaramillo - Flores & cs., 2003; Ramírez - Moreno & cs., 2013; Santiago & cs., 2018). Mẫu xương rồng trong nghiên cứu khi được chần ở 60 ºC có hàm lượng polyphenol tổng giảm 13,62%; flavonoid tổng giảm 25,61%; vitamin C giảm 7,03% và hoạt tính kháng oxy hóa giảm 8,41% được xem như vẫn còn giá trị về mặt sinh học.

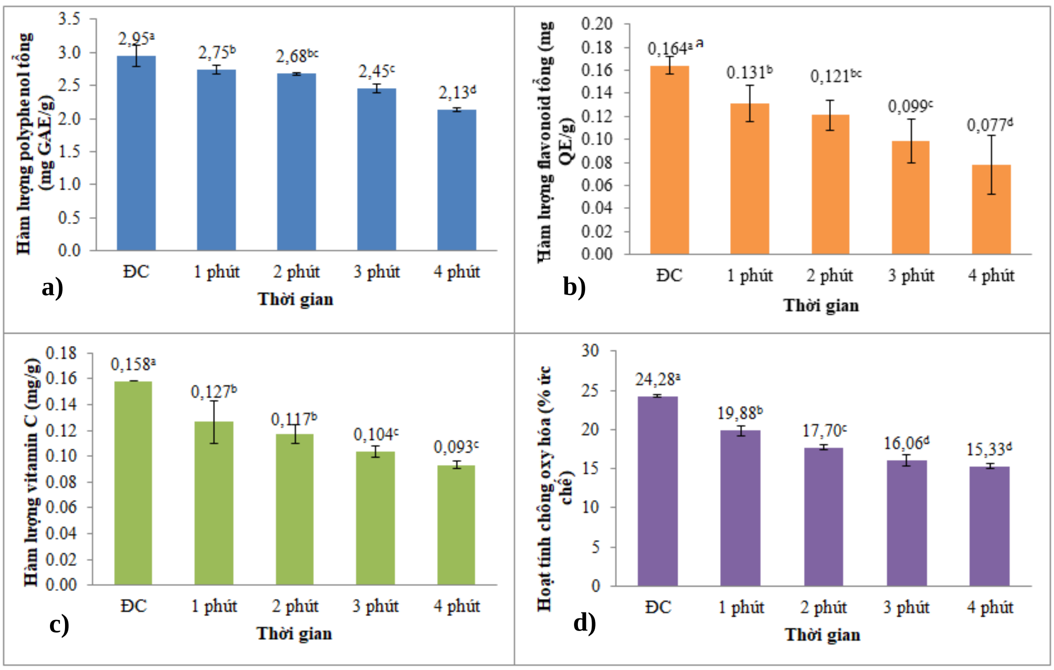
3.3 Ảnh hưởng của thời gian chần đến độ nhớt, hàm lượng các hoạt chất sinh học và khả năng kháng oxy hóa



Hình 4. Đồ thị thể hiện ảnh hưởng của thời gian chần đến độ nhớt

a, b, c: thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa về mặt thống kê theo phân tích ANOVA (α = 5%).

Kết quả ở Hình 4 cho thấy, độ nhớt của nguyên liệu giảm dần theo thời gian chần. Khi chần xương rồng ở 60 ^oC trong thời gian 2 phút, độ nhớt của nguyên liệu giảm mạnh so với mẫu ĐC, giảm từ (95,14 ± 0,134) cP xuống (86,73 ± 0,231) cP. Thời gian chần càng dài thì lượng nhớt hòa tan vào nước càng nhiều, độ nhớt còn lại trong nguyên liệu giảm. Sau thời gian chần 2 phút, độ nhớt tiếp tục giảm nhưng không có ý nghĩa. Điều này là do hầu hết lượng nhớt có thể hòa tan đã được khuếch tán vào nước.



Hình 5. Đồ thị thể hiện ảnh hưởng của thời gian chần đến hàm lượng các hoạt chất sinh học

a) Hàm lượng polyphenol tổng (mg GAE/g); b) Hàm lượng flavonoid tổng (mg QE/g);

c) Hoạt tính kháng oxy hóa (% ức chế); d) Hàm lượng vitamin C (mg/g)

[a, b, c, d]: thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa về mặt thống kê theo phân tích ANOVA (α = 5%).

Theo Hình 5, hàm lượng polyphenol tổng, flavonoid tổng, vitamin C và hoạt tính kháng oxy hóa đều giảm khi thời gian chần tăng dần vì đây đều là các yếu tố dễ hòa tan và dễ bị tác động bởi nhiệt độ (Santiago, Domínguez - Fernández, Cid & De Peña, 2018). Khi nguyên liệu tiếp xúc với nước nóng, sự thất thoát các thành phần xảy ra; tuy nhiên, đối với xương rồng Nopal sự thất thoát này chỉ diễn ra mạnh từ sau 2 phút xử lý. Khuynh hướng thay đổi này cũng được công bố ở một số đối tượng nghiên cứu khác như cải bó xôi, cải chip và bắp cải trắng (Roy & cs., 2007).

3.4 Tối ưu hóa quá trình xử lý nhiệt

Tiến hành tối ưu điều kiện chần theo phương pháp quy hoạch thực nghiệm trực giao cấp hai, hai yếu tố, cấu trúc có tâm xoay với tâm phương án là giá trị nhiệt độ và thời gian chần hiệu quả nhất đã khảo sát ở trên (60 ^oC, 2 phút). Các mức dao động của những yếu tố được bố trí trong Bảng 1 và kết quả quy hoạch thực nghiệm được biểu diễn trong Bảng 2.

Bảng 1. Các biến độc lập và mức độ dao động của chúng trong thiết kế bề mặt đáp ứng

Các biến độc lập	Mức độ dao động của các yếu tố				
	$-\sqrt{2}$	-1	0	1	$\sqrt{2}$
Nhiệt độ (^oC)	52,9	55,0	60,0	65,0	67,1
Thời gian (phút)	0,6	1,0	2,0	3,0	3,4

Bảng 2. Giá trị quy hoạch thực nghiệm tối ưu hóa quá trình chần

Thí nghiệm	Nhiệt độ (^oC) (X_1)	Thời gian (phút) (X_2)	Độ nhớt (cP) (Y_1)	Polyphenol tổng (mg GAE/g) (Y_2)	Flavonoid tổng (mg QE/g) (Y_3)	Vitamin C (mg/g) (Y_4)	Hoạt tính kháng oxy hóa (% ức chế) (Y_5)
1	55,0	1,0	90,82	2,82	0,139	0,138	21,95
2	65,0	1,0	86,13	2,58	0,096	0,101	19,14
3	55,0	3,0	86,92	2,62	0,102	0,106	17,58
4	65,0	3,0	84,71	2,29	0,070	0,087	14,65
5	52,9	2,0	89,64	2,79	0,127	0,119	18,08
6	67,1	2,0	85,22	2,41	0,070	0,098	15,04
7	60,0	0,6	90,92	2,80	0,145	0,135	22,57
8	60,0	3,4	85,43	2,48	0,111	0,093	16,21
9	60,0	2,0	87,51	2,65	0,126	0,120	17,29
10	60,0	2,0	87,11	2,63	0,118	0,114	17,47
11	60,0	2,0	86,60	2,69	0,120	0,119	18,32
12	60,0	2,0	86,24	2,70	0,121	0,122	18,18
13	60,0	2,0	86,84	2,74	0,124	0,116	17,53

Phân tích mô hình hồi quy bằng phần mềm Modde 5.0 cho kết quả như sau:

Bảng 3. Kết quả phân tích mô hình hồi quy

Hệ số	Độ nhớt		Polyphenol tổng		Flavonoid tổng		Vitamin C		Hoạt tính kháng oxy hóa	
	Giá trị hệ số	Giá trị P	Giá trị hệ số	Giá trị P	Giá trị hệ số	Giá trị P	Giá trị hệ số	Giá trị P	Giá trị hệ số	Giá trị P
Hằng số	86,970	0,000	2,684	0,000	0,123	0,000	0,117	0,000	17,689	0,000
X_1	-1,191	0,001	-0,113	0,000	-0,015	0,000	-0,010	0,001	-1,113	0,000
X_2	-1,492	0,000	-0,092	0,000	-0,012	0,001	-0,009	0,001	-1,710	0,000
X_1^2	0,049	0,791	-0,039	0,022	-0,010	0,001	-0,003	0,100	-0,340	0,039
X_2^2	0,217	0,264	-0,019	0,194	-0,001	0,759	-0,001	0,587	-0,068	0,001
X_1X_2	0,306	0,235	0,013	0,492	0,000	0,979	0,001	0,527	0,159	0,400
Q^2	0,643		0,630		0,651		0,591		0,712	
R^2	0,928		0,937		0,938		0,903		0,968	

Kết quả phân tích hồi quy cho thấy hệ số R^2 (độ biến thiên thực) > 0,90 và Q^2 (độ biến thiên ảo) > 0,59 chứng tỏ mô hình thu được có ý nghĩa và tương thích với thực tế cao (Gabrielsson & cs., 2002). Hai yếu tố nhiệt độ (X_1) và thời gian (X_2) có tác động đến tất cả các hàm mục tiêu. Các yếu tố mang hệ số có ý nghĩa (các yếu tố có p < 0,05) đều có tác động tiêu cực đến hàm mục tiêu (khi các yếu tố này tăng thì giá trị hàm mục tiêu giảm). Loại trừ các hệ số không có ý nghĩa (do có p > 0,05), hàm hồi quy bậc hai theo biến mã hóa thu được như sau:

$$Y_1 = 86,970 - 1,191.X_1 - 1,492.X_2$$

$$Y_2 = 2,684 - 0,113.X_1 - 0,092.X_2 - 0,039.X_1^2$$

$$Y_3 = 0,123 - 0,015.X_1 - 0,012.X_2 - 0,010.X_1^2$$

$$Y_4 = 0,117 - 0,010.X_1 - 0,009.X_2$$

$$Y_5 = 17,689 - 1,113.X_1 - 1,710.X_2 - 0,340.X_1^2 - 0,068.X_2^2$$

Trong đó, Y_1 là độ nhớt, Y_2 là hàm lượng polyphenol tổng, Y_3 là hàm lượng flavonoid tổng, Y_4 là hàm lượng vitamin C, Y_5 là hoạt tính kháng oxy hóa.

Tiến hành tối ưu hóa các yếu tố ảnh hưởng để nguyên liệu sau khi chần có độ nhớt thấp nhất và hàm lượng polyphenol tổng, flavonoid tổng, vitamin C và hoạt tính kháng oxy hóa cao nhất. Kết quả quá trình tối ưu hóa các hàm mục tiêu được thể hiện ở Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả tối ưu của các hàm mục tiêu theo nhiệt độ và thời gian tìm được từ mô hình dự đoán

STT	**Hàm mục tiêu**	**Giá trị tối ưu**	**Nhiệt độ (°C)**	**Thời gian (phút)**
1	Độ nhớt (cP)	87,59		
2	Polyphenol tổng (mg GAE/g)	2,71	60,22	1,65
3	Flavonoid tổng (mg QE/g)	0,125		

STT	Hàm mục tiêu	Giá trị tối ưu	Nhiệt độ (^oC)	Thời gian (phút)
4	Vitamin C (mg/g)	0,121		
5	Hoạt tính kháng oxy hóa (% ức chế)	18,99		

Ba thí nghiệm kiểm chứng được tiến hành ở nhiệt độ 60,2 ^oC và thời gian 1,7 phút thu được kết quả: độ nhớt (87,38 ± 1,021) cP, hàm lượng polyphenol tổng (2,76 ± 0,021) mg GAE/g, flavonoid tổng (0,125 ± 0,017) mg QE/g, vitamin C (0,121 ± 0,006) mg/g, hoạt tính kháng oxy hóa (19,17 ± 0,14)% ức chế. Kết quả trên cho thấy, mô hình dự đoán và kết quả thu được từ thực nghiệm có sự tương thích, do đó có thể kết luận rằng mô hình thu được có khả năng dự đoán tốt.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu được thực hiện nhằm xác định điều kiện chần phù hợp để giảm nhớt và giảm thiểu tổn thất các thành phần có hoạt tính sinh học từ xương rồng Nopal. Kết quả nghiên cứu cho thấy, xương rồng sau khi chần ở 60,2 ^oC trong thời gian 1,7 phút có độ nhớt 87,38 cP, hàm lượng polyphenol tổng 2,76 mg GAE/g, flavonoid tổng 0,125 mg QE/g, vitamin C 0,121 mg/g và hoạt tính kháng oxy hóa 19,17% ức chế. Nguyên liệu sau khi xử lý có thể sử dụng để chế biến một số sản phẩm thực phẩm, đây cũng là hướng nghiên cứu nên được thực hiện trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Agbor, G. A., Vinson, J. A., & Donnelly, P. E. (2014). Folin-Ciocalteau reagent for polyphenolic assay. *International Journal of Food Science, Nutrition and Dietetics (IJFS), 3,* 147 - 156.

Bayar, N., Kria, M., & Kammoun, R. (2016). Extraction and characterization of three polysaccharides extracted from *Opuntia ficus indica* cladodes. *International Journal of Biological Macromolecules, 92,* 441 - 450.

Faller, A., & Fialho, E. (2009). The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking. *Food Research International, 42,* 210 - 215.

Gabrielsson, J., Lindberg, N. O., Lundstedt, T. (2002). Multivariate methods in pharmaceutical applications. *Journal of Chemometrics, 16*, 141 - 160.

Jaramillo-Flores, M. E., González-Cruz, L., Cornejo-Mazon, M., Dorantes-Alvarez, L., Gutierrez-Lopez, G. F., & Hernandez-Sanchez, H. (2003). Effect of thermal treatment on the antioxidant activity and content of carotenoids and phenolic compounds of cactus pear cladodes (Opuntia ficus-indica). *Food science and technology international, 9*, 271 - 278.

Kähkönen, M. P., Hopia, A. I., Vuorela, H. J., Rauha, J. P., Pihlaja, K., & Kujala, T. S. (1999). Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of agricultural and food chemistry, 47,* 3954 - 3962.

Lê Mỹ Hồng, Nguyễn Thị Thanh My, Nguyễn Thị Nga, Trần Thị Thu Hồng, & Lê Văn Khá. (2009). Quá trình chế biến hạt sen đóng hộp. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, 11*, 245 - 254.

Lefsih, K., Delattre, C., Pierre, G., Michaud, P., Aminabhavi, T. M., Dahmoune, F., & Madani, K. (2016). Extraction, characterization and gelling behavior enhancement of pectins from the cladodes of Opuntia ficus indica. *International*

Journal of Biological Macromolecules, 82, 645 - 652.

Marfil, P., Santos, E., & Telis, V. (2008). Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions, *LWT-Food Science and Technology, 41*, 1642 - 1647.

Mostafa, K. E., Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., Kebbaj, M S., & Cherkaoui-Malki, M. (2014). Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. *US National Library of MedicineNational Institutes of Health, 19(9),* 14879 - 901.

Nava, A. A., Oliver, M. C., Campos, O. N., Zou, T., & Gu, L. (2014). Extract of cactus (Opuntia ficus indica) cladodes scavenges reactive oxygen species in vitro and enhances plasma antioxidant capacity in humans. *Journal of Functional Foods, 10*, 13 - 24.

Ramírez-Moreno, E., Córdoba-Díaz, D., De Cortes Sánchez-Mata, M., Díez-Marqués, C., & Goñi I. (2013). Effect of boiling on nutritional, antioxidant and physicochemical characteristics in cladodes (*Opuntia ficus indica*). *LWT-Food Science and Technology, 51*, 296 - 302.

Romero, P. L., Ontiveros, E. P., Nava, A. A., Manjarrez, N. V., Tovar, A. R., Chaverri, J. P., & Torres, N. (2014). The Effect of Nopal (*Opuntia Ficus Indica*) on Postprandial Blood Glucose, Incretins, and Antioxidant Activity in Mexican Patients with Type 2 Diabetes after Consumption of Two Different Composition Breakfasts. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, 114, 11,* 1811 - 1818.

Santiago, E. D., Domínguez-Fernández, M., Cid, C., & De Peña, M. P. (2018). Impact of cooking process on nutritional composition and antioxidants of cactus cladodes (Opuntia ficus-indica). *Food chemistry*, 240, 1055 - 1062.

Tang, H. C. L., & McFeeters, R. (1983). Relationships among cell wall constituents, calcium and texture during cucumber fermentation and storage. *Journal of Food Science, 48*, 66 - 70.

Teles, F. F. F. (1977). *Nutrient Analysis of Prickly Pear* (Opuntia Ficus Indica, Linn).

Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Byrne, D. H. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of food composition and analysis, 19*, 669 - 675.

Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food chemistry, 64*, 555 - 559.