

Tối ưu hóa điều kiện xử lý giấm và CaCl_2 ảnh hưởng đến chất lượng củ hủ khóm muối chua bằng phương pháp bề mặt đáp ứng

Phạm Thị Minh Hoàng*, Huỳnh Thị Huệ Trang, Phạm Đỗ Trang Minh, Trần Thúy An, Lê Thị Kim Loan, Đàm Thị Kim Yên

Khoa Nông nghiệp và Công nghệ thực phẩm, Trường Đại học Tiền Giang

Email: phamthiminhhoang@tgu.edu.vn

Tóm tắt

Củ hủ khóm là phụ phẩm nông nghiệp giàu chất xơ, đường và khoáng chất nhưng chưa được khai thác hiệu quả. Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố tiền xử lý gồm tỷ lệ và thời gian ngâm giấm, tỷ lệ và thời gian ngâm CaCl_2 đến chất lượng sản phẩm củ hủ khóm muối chua. Phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM) với thiết kế tổ hợp trung tâm (CCD) được áp dụng nhằm tối ưu đồng thời độ trắng (L^*), độ cứng (N) và điểm đánh giá cảm quan. Kết quả cho thấy tỷ lệ giấm ảnh hưởng mạnh nhất đến độ trắng và cảm quan, trong khi độ cứng phụ thuộc chủ yếu vào tỷ lệ và thời gian ngâm CaCl_2 . Điều kiện tối ưu được xác định gồm giấm 2,49 %, thời gian ngâm giấm 12,27 phút, CaCl_2 0,73 % và thời gian ngâm CaCl_2 12,82 phút, giúp sản phẩm đạt độ trắng 79,6, độ cứng 71,6 N và điểm cảm quan 18,7/20. Kết quả góp phần hoàn thiện công đoạn tiền xử lý trong quy trình chế biến sản phẩm muối chua từ phụ phẩm nông nghiệp theo hướng gia tăng giá trị và phát triển bền vững.

© 2025 Journal of Science and Technology - NTTU

Nhận	28/10/2025
Được duyệt	16/12/2025
Công bố	22/12/2025

Từ khóa

chất lượng, củ hủ khóm, muối chua, phương pháp bề mặt đáp ứng, tiền xử lý

1 Đặt vấn đề

Ngành công nghiệp chế biến nông sản tại Việt Nam đang phát triển mạnh, đặt ra yêu cầu cấp thiết về tận dụng hiệu quả nguyên liệu và phụ phẩm nhằm giảm thất thoát sau thu hoạch và gia tăng giá trị kinh tế theo hướng bền vững [1]. Trong đó, cây khóm (*Ananas comosus*) được trồng phổ biến tại các tỉnh Đồng bằng sông Cửu Long với sản lượng lớn phục vụ chế biến và xuất khẩu. Quá trình chế biến khóm tạo ra nhiều phụ phẩm, trong đó đáng chú ý là củ hủ khóm hiện đang bị bỏ đi hoặc chỉ sử dụng làm thức ăn chăn nuôi, mặc dù có giá trị dinh dưỡng đáng kể nhưng giàu chất xơ, đường tự nhiên và khoáng chất. Do đó, việc khai thác củ hủ khóm làm nguyên liệu thực phẩm có tiềm năng kinh tế cao và phù hợp với mô hình sản xuất nông nghiệp tuần hoàn [2].

Trong những năm gần đây, các sản phẩm lên men truyền thống, đặc biệt là rau củ muối chua, ngày càng được ưa chuộng nhờ hương vị đặc trưng và lợi ích đối với sức khỏe đường ruột [3]. Phát triển sản phẩm muối chua từ củ hủ khóm góp phần đa dạng hóa nhóm thực phẩm lên men và tạo giá trị gia tăng mang tính đặc thù vùng miền. Tuy nhiên, củ hủ khóm có cấu trúc mô mềm đặc biệt sau khi rửa đông, dễ bị biến đổi trong môi trường acid khi ngâm giấm, khác với nhiều loại rau củ muối chua truyền

thống có cấu trúc tế bào bền như cải bẹ, cà rốt. Việc xử lý không phù hợp có thể làm sản phẩm mềm, giảm cấu trúc và mất màu tự nhiên, ảnh hưởng đến giá trị cảm quan [4]. Trong chế biến rau củ muối chua, giấm đóng vai trò điều chỉnh pH, kiểm soát vi sinh và hình thành hương vị; tỷ lệ và thời gian ngâm giấm ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình acid hóa và thẩm thấu trong mô nguyên liệu [5].

Bên cạnh môi trường acid, CaCl_2 thường được sử dụng nhằm tăng độ cứng mô thực vật thông qua cơ chế liên kết pectin trong thành tế bào. Việc bổ sung CaCl_2 với tỷ lệ và thời gian phù hợp giúp ổn định cấu trúc và hạn chế hiện tượng mềm mô, tuy nhiên sử dụng không hợp lý có thể ảnh hưởng đến cảm quan sản phẩm [6].

Ngoài tác động riêng lẻ, sự tương tác giữa tỷ lệ và thời gian ngâm giấm với CaCl_2 có thể gây ra những biến đổi phức tạp về màu sắc, cấu trúc và hương vị. Trong môi trường acid mạnh, pectin và cellulose dễ bị phân giải làm giảm độ trắng (L^*), trong khi ion Ca^{2+} có khả năng hạn chế phá vỡ cấu trúc mô, góp phần duy trì độ cứng và màu sắc nguyên liệu [6]. Do đó, việc tối ưu hóa các điều kiện xử lý giấm và CaCl_2 bằng phương pháp bề mặt đáp ứng nhằm cải thiện độ trắng, độ cứng và chất lượng cảm quan của củ hủ khóm muối chua là cần thiết, có ý nghĩa

khoa học và thực tiễn, góp phần hoàn thiện quy trình chế biến, phát triển sản phẩm đặc thù địa phương và nâng cao hiệu quả sử dụng phụ phẩm nông nghiệp theo hướng bền vững.

2 Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1 Địa điểm và thời gian nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện tại phòng thí nghiệm Công nghệ thực phẩm và Phân tích chuyên sâu, Khoa Nông nghiệp và Công nghệ thực phẩm, Trường Đại học Tiền Giang từ tháng 10/2023 đến tháng 10/2025.

2.2 Chuẩn bị nguyên liệu

Nguyên liệu nghiên cứu là củ hủ khóm giống Queen, thu nhận từ các cây khóm bị đốn bỏ tại các hộ nông dân thuộc các xã Hưng Thạnh, Tân Phước 1, Tân Phước 2 và Tân Phước 3, tỉnh Đồng Tháp. Sau khi loại bỏ lớp vỏ xanh để thu phần mô non màu trắng, nguyên liệu được vận chuyển về phòng thí nghiệm, rửa sạch và bảo quản đông lạnh nhằm chủ động nguồn nguyên liệu. Trước khi tiến hành thí nghiệm, củ hủ khóm được rửa đông. Quá trình rửa đông làm cấu trúc mô trở nên mềm và màu sắc nhạt hơn; do đó, sau khi bào mỏng với độ dày 1-2 mm, nguyên liệu được xử lý bằng giấm và CaCl_2 nhằm cải thiện màu sắc và ổn định cấu trúc của nguyên liệu.

Quá trình tối ưu hóa điều kiện tiền xử lý củ hủ khóm muối chua được thực hiện trên bốn yếu tố, dựa trên kết quả các thí nghiệm đơn và đôi, bao gồm: X_1 : tỷ lệ giấm (1-3 %), X_2 : thời gian ngâm giấm (5-15 phút), X_3 : tỷ lệ CaCl_2 (0,25-0,75 %) và X_4 : thời gian ngâm CaCl_2 (5-15 phút). Phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM) với thiết kế tổ hợp trung tâm (CCD) được áp dụng nhằm xây dựng phương trình tổng quát của mô hình và xác định điều kiện tối ưu. Thiết kế CCD toàn phần được lựa chọn nhằm đảm bảo khả năng mô tả chính xác mối quan hệ phi tuyến giữa các yếu tố công nghệ và các chỉ tiêu đáp ứng. Ưu điểm của thiết kế CCD là cho phép khảo sát đầy đủ miền biến thiên của các yếu tố, bao gồm cả các mức cực trị thông qua các điểm trục, từ đó mô hình hóa chính xác độ cong của bề mặt đáp ứng và xác định điều kiện tối ưu một cách tin cậy. Đồng thời, việc bố trí nhiều điểm trung tâm giúp đánh giá sai số thí nghiệm, kiểm định tính lặp lại và độ phù hợp của mô hình hồi quy, góp phần nâng cao độ tin cậy của kết quả tối ưu hóa. Các đơn vị thí nghiệm ở nghiệm thức thừa và trục được thực hiện 2 lần và 6 nghiệm thức trung tâm. Ba chỉ tiêu đầu ra được lựa chọn gồm độ trắng L^* (Y_1), độ cứng (Y_2) và điểm cảm quan tổng hợp theo TCVN 3215:79 (Y_3).

2.4 Phương pháp nghiên cứu

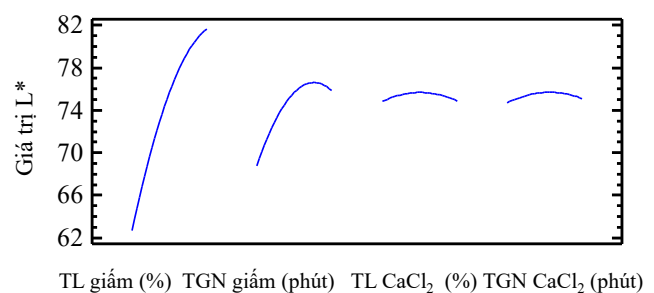
Dữ liệu được xử lý và phân tích thống kê bằng phương pháp mô hình bề mặt đáp ứng, xây dựng phương trình hồi quy đa thức bậc hai bằng phần mềm STATGRAPHICS Centurion XV.I.

Hàm lượng polyphenol tổng được xác định theo phương pháp Folin-Ciocalteu. Các chỉ tiêu hóa học khác được phân tích tại Công ty TNHH Vietlab, gồm hàm lượng acid amin (VLAB-CH-TP-595), dư lượng thuốc trừ sâu (VLAB-CH-TP-614), khoáng chất (AOAC 999.11), carbohydrate (VLAB-CH-TP-140) và xơ thô (VLAB-CH-TP-104). Đánh giá cảm quan được thực hiện theo TCVN 3215-79 với thang điểm 6 bậc (0-5) bởi hội đồng 7 thành viên được huấn luyện thuộc lĩnh vực Công nghệ thực phẩm.

3 Kết quả và thảo luận

3.1 Tối ưu hóa điều kiện tiền xử lý ảnh hưởng đến độ trắng của củ hủ khóm muối chua

Củ hủ khóm là nguyên liệu có giá trị dinh dưỡng và tiềm năng ứng dụng trong chế biến thực phẩm, với hàm lượng carbohydrate 8,87 %, đường tổng và đường khử 4,45-4,48 %, xơ thô 1,94 %, cùng hàm lượng acid amin (0,33 %) và các khoáng chất thiết yếu như kali (1 587 mg/kg), phospho (318 mg/kg), kẽm (4,54 mg/kg) và sắt (5,67 mg/kg) ở mức cao. Nguyên liệu không phát hiện dư lượng thuốc bảo vệ thực vật, đảm bảo an toàn cho chế biến. Độ sáng (L^*) là chỉ tiêu quan trọng phản ánh chất lượng màu sắc và mức độ chấp nhận của sản phẩm. Ảnh hưởng của tỷ lệ và thời gian ngâm giấm, cũng như tỷ lệ và thời gian xử lý CaCl_2 đến sự biến thiên giá trị L^* được trình bày trong Hình 1.



Hình 1. Tác động của từng nhân tố đến độ sáng của sản phẩm

Ghi chú: TL là tỷ lệ; TGN là thời gian ngâm

Hình 1 cho thấy ảnh hưởng riêng lẻ của các yếu tố tiền xử lý đến độ sáng (L^*) của củ hủ khóm muối chua. Tỷ lệ giấm là yếu tố chi phối mạnh nhất, làm tăng giá trị L^* rõ rệt và đạt xu hướng ổn định ở vùng nồng độ cao, phản ánh vai trò của acid acetic trong ức chế phản ứng hóa nâu bằng enzyme. Thời gian ngâm giấm làm tăng độ

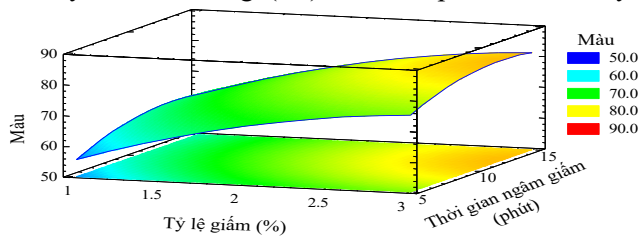
trắng đến khoảng 10 phút, sau đó ảnh hưởng không đáng kể. Ngược lại, CaCl_2 chỉ gây biến thiên nhẹ giá trị L^* ; độ trắng tăng nhẹ ở mức 0,4-0,6 % và hầu như không thay đổi theo thời gian ngâm, phù hợp với vai trò gián tiếp của Ca^{2+} trong ổn định cấu trúc mô [7].

Các biểu đồ bề mặt đáp ứng từ mô hình hồi quy bậc hai cho thấy độ trắng (L^*) của sản phẩm tăng chủ yếu theo tỷ lệ giấm, đặc biệt trong khoảng 2,5-3,0 %, trong khi ảnh hưởng của thời gian ngâm giấm chỉ rõ trong khoảng 10 phút đầu và sau đó gần như ổn định, phù hợp với cơ chế ức chế hóa nâu enzyme trong môi trường acid [8]. Ngược lại, CaCl_2 có tác động hạn chế; giá trị L^* chỉ tăng nhẹ ở mức 0,4-0,6 % và hầu như không thay đổi theo thời gian ngâm, cho thấy vai trò chủ yếu của Ca^{2+} là ổn định cấu trúc mô thông qua liên kết pectin [7]. Tổng hợp kết quả xác định mức độ ảnh hưởng đến độ trắng theo thứ tự: tỷ lệ giấm > thời gian ngâm giấm > tỷ lệ CaCl_2 > thời gian ngâm CaCl_2 .

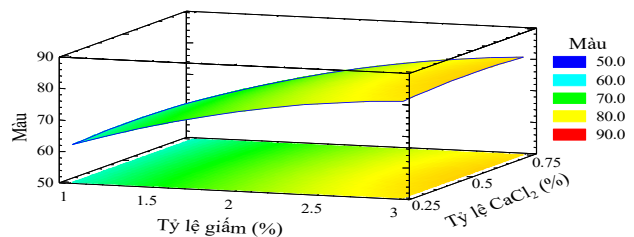
Mô hình hồi quy bậc hai mô tả ảnh hưởng của các yếu tố tiền xử lý đến độ trắng (L^*) của sản phẩm được xây

dựng như sau: Giá trị L (độ trắng) = $15,18 + 23,85 \cdot X_1 + 13,39 \cdot X_2 + 12,10 \cdot X_3 + 0,69 \cdot X_4 - 3,55 \cdot X_1^2 - 0,045 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,40 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,006 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,135 \cdot X_2^2 + 0,164 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,002 \cdot X_2 \cdot X_4 - 13,23 \cdot X_3^2 - 0,123 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,031 \cdot X_4^2$

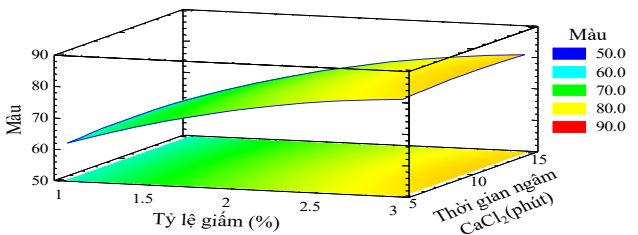
Phương trình hồi quy bậc hai mô tả giá trị L^* cho thấy độ trắng chịu ảnh hưởng đồng thời của các yếu tố bậc nhất và bậc hai. Các hệ số bậc nhất mang dấu dương, trong đó tỷ lệ và thời gian ngâm giấm (X_1, X_2) có ảnh hưởng mạnh nhất, tiếp theo là tỷ lệ và thời gian ngâm CaCl_2 (X_3, X_4) với tác động thấp hơn, cho thấy giấm là yếu tố chi phối chính đến độ trắng, còn CaCl_2 đóng vai trò hỗ trợ. Mô hình cũng xác định sự tồn tại của vùng tối ưu về tỷ lệ và thời gian xử lý, đặc trưng cho tối ưu hóa bề mặt đáp ứng. Từ mô hình RSM, giá trị L^* dự đoán cao nhất đạt 82,4 tại điều kiện: giấm 3,33 %, thời gian ngâm giấm 12,44 phút, CaCl_2 0,53 % và thời gian ngâm CaCl_2 10,8 phút, cho thấy khả năng tối ưu hóa hiệu quả quy trình tiền xử lý thông qua cân bằng giữa acid hóa và ổn định cấu trúc mô.



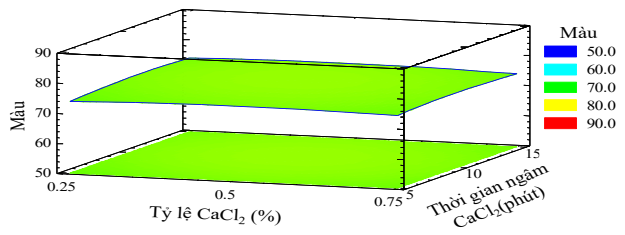
(a) Tỷ lệ giấm và thời gian ngâm giấm (tỷ lệ CaCl_2 – 0,5%, thời gian ngâm CaCl_2 – 10 phút)



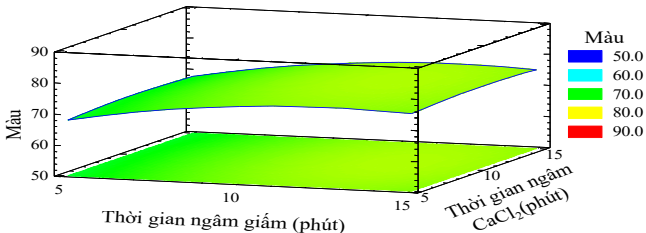
(b) Tỷ lệ giấm và tỷ lệ CaCl_2 (thời gian ngâm giấm – 10 phút, thời gian ngâm CaCl_2 – 10 phút)



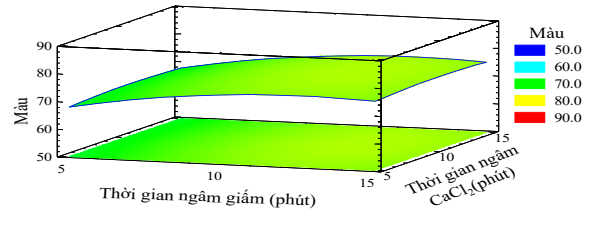
(c) Tỷ lệ giấm và thời gian ngâm CaCl_2 (tỷ lệ CaCl_2 – 0,5%, thời gian ngâm giấm – 10 phút)



(d) Tỷ lệ CaCl_2 và thời gian ngâm CaCl_2 (tỷ lệ giấm – 2%, thời gian ngâm giấm – 10 phút)



(e) Thời gian ngâm CaCl_2 và thời gian ngâm giấm (tỷ lệ CaCl_2 – 0,5%, tỷ lệ giấm – 1%)

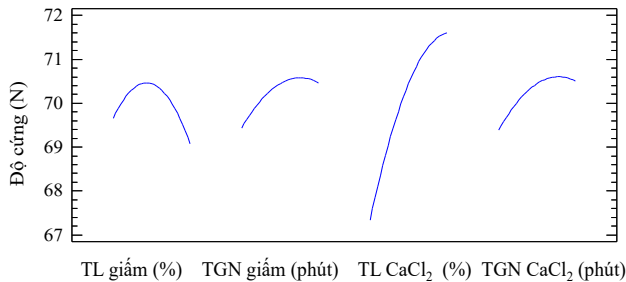


(f) Thời gian ngâm giấm và tỷ lệ CaCl_2 (tỷ lệ giấm – 1%, thời gian ngâm CaCl_2 – 10 phút)

Hình 2. Biểu đồ bề mặt đáp ứng thể hiện ảnh hưởng của các cặp yếu tố đến độ trắng của sản phẩm

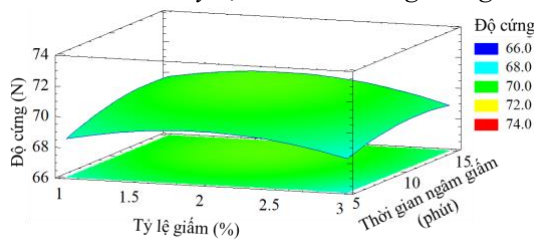
3.2 Tối ưu hóa quá trình tiền xử lý củ hủ khóm muối chua đến độ cứng của sản phẩm

Độ cứng là chỉ tiêu quan trọng phản ánh cấu trúc và mức độ chấp nhận của sản phẩm, chịu ảnh hưởng của tỷ lệ và thời gian ngâm giấm cũng như tỷ lệ và thời gian xử lý CaCl_2 thông qua sự biến đổi pectin và cấu trúc mô tế bào. Xu hướng biến thiên độ cứng (N) theo từng yếu tố được thể hiện qua các biểu đồ đáp ứng một nhân tố (Hình 3).

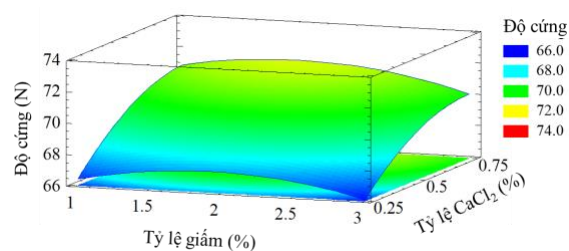


Hình 3. Tác động của các nhân tố đến độ cứng của sản phẩm củ hủ khóm muối chua

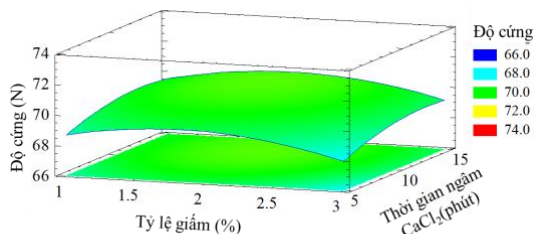
Ghi chú: TL là tỷ lệ; TGN là thời gian ngâm



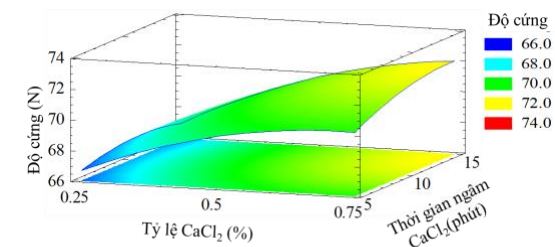
(a) Tỷ lệ giấm và thời gian ngâm giấm (tỷ lệ CaCl_2 – 0,5%, thời gian ngâm CaCl_2 – 10 phút)



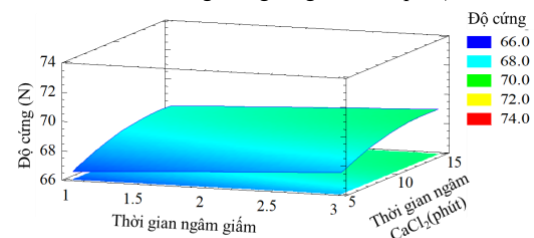
(b) Tỷ lệ giấm và tỷ lệ CaCl_2 (thời gian ngâm giấm – 10 phút, thời gian ngâm CaCl_2 – 10 phút)



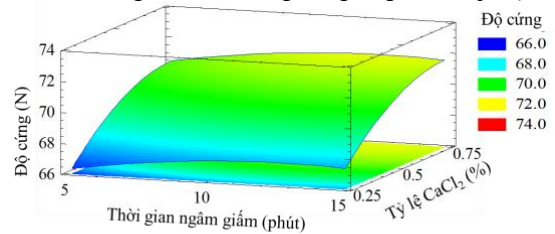
(c) Tỷ lệ giấm và thời gian ngâm CaCl_2 (tỷ lệ CaCl_2 – 0,5%, thời gian ngâm giấm – 10 phút)



(d) Tỷ lệ CaCl_2 và thời gian ngâm CaCl_2 (tỷ lệ giấm – 2%, thời gian ngâm giấm – 10 phút)



(e) Thời gian ngâm CaCl_2 và thời gian ngâm giấm (tỷ lệ CaCl_2 – 0,5%, tỷ lệ giấm – 1%)



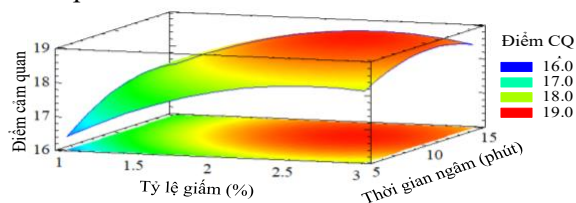
(f) Thời gian ngâm giấm và tỷ lệ CaCl_2 (tỷ lệ giấm – 1%, thời gian ngâm CaCl_2 – 10 phút)

Hình 4. Biểu đồ bề mặt đáp ứng thể hiện ảnh hưởng của các yếu tố đến độ cứng của sản phẩm

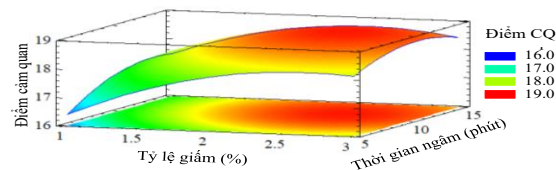
Tỷ lệ và thời gian ngâm giấm làm tăng độ cứng ở mức thấp đến trung bình ($\approx 1,0$ – $1,5$ % và 8–10 phút), nhưng làm giảm độ cứng khi vượt ngưỡng tối ưu do suy yếu cấu trúc thành tế bào [9]. Ngược lại, CaCl_2 là yếu tố chi phối chính, với độ cứng tăng rõ rệt ở mức 0,4–0,6 % và thời gian ngâm 8–12 phút nhờ hình thành liên kết chéo Ca^{2+} –pectate [7, 10], sau đó xu hướng tăng chậm lại do hiện tượng bão hòa [11]. Nhìn chung, acid hóa đóng vai trò hỗ trợ, trong khi CaCl_2 quyết định cấu trúc, và sự phối hợp hợp lý giữa hai yếu tố là cần thiết để duy trì độ cứng đặc trưng của sản phẩm. Hình 4 cho thấy ảnh hưởng tương tác của các yếu tố tiền xử lý đến độ cứng của củ hủ khóm muối chua, với giá trị dao động trong khoảng 66–74 N. Acid cải thiện độ cứng ở vùng thấp-trung bình, trong khi CaCl_2 tạo hiệu quả tăng cường rõ rệt hơn; sự xuất hiện các vùng cực đại trên đồ thị khẳng định tính phi tuyến của mô hình và sự tồn tại của các điều kiện tiền xử lý tối ưu.

Phương trình sau đây thể hiện mối quan hệ định lượng giữa các yếu tố đến độ cứng của sản phẩm: Độ cứng (N) = $15,18 + 12,85 \cdot X_1 + 3,39 \cdot X_2 + 32,09 \cdot X_3 + 24,68 \cdot X_4 - 3,54 \cdot X_1^2 - 0,045 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,40 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,0057 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,135 \cdot X_2^2 + 0,164 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,0019 \cdot X_2 \cdot X_4 - 13,23 \cdot X_3^2 - 0,123 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,031 \cdot X_4^2$ (2)

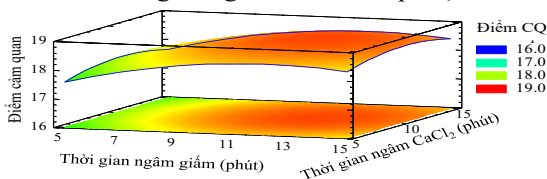
Phương trình hồi quy cho thấy độ cứng là hàm bậc hai của bốn yếu tố khảo sát, trong đó tỷ lệ và thời gian ngâm CaCl_2 là các nhân tố chi phối mạnh nhất, tiếp theo là tỷ lệ giấm, còn thời gian ngâm giấm có ảnh hưởng thấp hơn. Các hệ số bậc hai mang dấu âm xác nhận sự tồn tại của ngưỡng tối ưu, trong khi các tương tác giữa giấm và CaCl_2 cho thấy hiệu ứng cộng hưởng ở mức thích hợp và xu hướng bão hòa khi tăng cao đồng thời các yếu tố. Kết quả tối ưu hóa xác định điều kiện thích hợp gồm giấm 1,79 %, thời gian ngâm giấm 11,97 phút, CaCl_2 0,82 % và thời gian ngâm CaCl_2 14,87 phút, tại đó độ cứng dự đoán đạt 72,2 N, khẳng định vai trò chi phối của Ca^{2+} kết hợp với acid nhẹ trong duy trì và cải thiện cấu trúc sản phẩm củ hủ khóm muối chua.



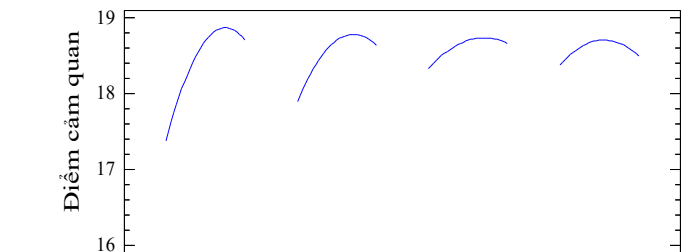
(a) Tỷ lệ giấm và thời gian ngâm (tỷ lệ CaCl_2 – 0,5%, thời gian ngâm CaCl_2 – 10 phút)



(c) Tỷ lệ giấm và thời gian ngâm (tỷ lệ CaCl_2 – 0,5%, thời gian ngâm CaCl_2 – 10 phút)

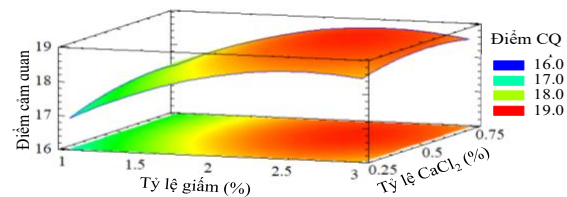


(e) Thời gian ngâm CaCl_2 và thời gian ngâm giấm (tỷ lệ CaCl_2 – 0,5%, tỷ lệ giấm – 1%)

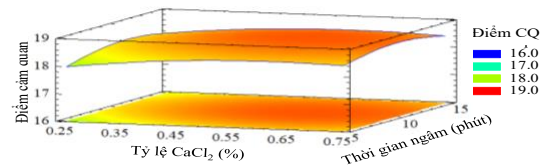


TL giấm (%) TGN giấm (phút) TL CaCl_2 (%) TGN CaCl_2 (phút)

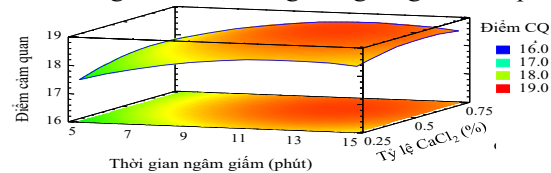
Hình 5. Tác động của các nhân tố đến giá trị cảm quan của sản phẩm



(b) Tỷ lệ giấm và tỷ lệ CaCl_2 (thời gian ngâm giấm – 10 phút, thời gian ngâm CaCl_2 – 10 phút)



(d) Tỷ lệ CaCl_2 và thời gian ngâm CaCl_2 (tỷ lệ giấm – 2%, thời gian ngâm giấm – 10 phút)



(f) Thời gian ngâm giấm và tỷ lệ CaCl_2 (tỷ lệ giấm – 1%, thời gian ngâm CaCl_2 – 10 phút)

Hình 6. Biểu đồ bề mặt đáp ứng thể hiện ảnh hưởng của các yếu tố đến giá trị cảm quan của sản phẩm

Hình 5 cho thấy ảnh hưởng của tỷ lệ và thời gian ngâm giấm, cũng như tỷ lệ và thời gian xử lý CaCl_2 đến giá trị cảm quan của sản phẩm. Tất cả các yếu tố đều thể hiện

xu hướng bậc hai, tăng đến giá trị tối ưu rồi giảm khi vượt ngưỡng, phù hợp với mô hình hồi quy của phương pháp bề mặt đáp ứng. Tỷ lệ giấm là yếu tố chi phối

mạnh nhất, với điểm cảm quan cao nhất ở khoảng 1,3-1,5 % và thời gian ngâm khoảng 10 phút nhờ cải thiện màu sắc và hương vị; tuy nhiên, tỷ lệ hoặc thời gian quá cao làm vị chua kém hài hòa và ảnh hưởng cấu trúc [12]. CaCl₂ ở mức 0,4-0,6% và thời gian ngâm 8-10 phút hỗ trợ ổn định cấu trúc thông qua liên kết Ca²⁺-pectin, nhưng vượt ngưỡng này hiệu quả cảm quan giảm. Sự phối hợp tối ưu giữa giấm và CaCl₂ giúp sản phẩm đạt 18,5-19/20 điểm cảm quan, tương ứng mức chấp nhận cao nhất, phù hợp với các nghiên cứu trước trên rau quả muối chua [12]

Để định lượng ảnh hưởng riêng lẻ và tương tác của các yếu tố công nghệ đến điểm cảm quan, phương trình hồi quy bậc hai theo mô hình bề mặt đáp ứng được thiết lập như sau: Cảm quan = $8,16 + 5,2X_1 + 0,52X_2 + 5,4X_3 + 0,26X_4 - 0,66X_1^2 - 0,04X_1X_2 - 0,4X_1X_3 - 0,014X_1X_4 - 0,017X_2^2 - 0,041X_2X_3 + 0,0001X_2X_4 - 3,3X_3^2 - 0,029X_3X_4 - 0,01X_4^2$

Mô hình hồi quy bậc hai theo phương pháp bề mặt đáp ứng cho thấy giá trị cảm quan phụ thuộc đồng thời vào bốn yếu tố tiền xử lý, trong đó tỷ lệ giấm và tỷ lệ CaCl₂ là hai nhân tố chi phối chính. Các hệ số bậc nhất dương và hệ số bậc hai âm xác nhận sự tồn tại của vùng tối ưu, trong khi các tương tác giữa giấm và CaCl₂ cho thấy hiệu quả cảm quan chỉ đạt cao khi các yếu tố được phối hợp trong giới hạn thích hợp; các yếu tố thời gian chủ yếu đóng vai trò điều chỉnh.

Kết quả tối ưu hóa xác định giá trị cảm quan cao nhất đạt 18,93 điểm tại điều kiện: giấm 2,44 %, thời gian

ngâm giấm 11,6 phút, CaCl₂ 0,56 % và thời gian ngâm CaCl₂ 10,2 phút. Điều kiện này phản ánh sự cân bằng giữa acid hóa nhẹ và cố định cấu trúc mô, trong đó acid cải thiện màu sắc và hương vị, còn CaCl₂ ổn định cấu trúc, khẳng định hiệu quả của tối ưu hóa đồng thời các yếu tố tiền xử lý trong nâng cao chất lượng cảm quan sản phẩm.

3.4 Tối ưu hoá 3 bề mặt giá trị L*, độ cứng và giá trị cảm quan

Kết quả tối ưu hóa đồng thời các yếu tố tiền xử lý theo từng chỉ tiêu đáp ứng (độ trắng, độ cứng và giá trị cảm quan), cũng như nghiệm thức tối ưu tổng hợp cho cả ba chỉ tiêu, được trình bày trong Bảng 1. Bảng 1 cho thấy điều kiện tối ưu của từng chỉ tiêu không trùng nhau, phản ánh sự khác biệt về mức độ và xu hướng tác động của các yếu tố công nghệ lên từng đáp ứng. Cụ thể, tỷ lệ và thời gian xử lý CaCl₂ tối ưu cho độ cứng cao hơn so với điều kiện tối ưu cho giá trị cảm quan, cho thấy CaCl₂ có tác động mạnh đến cấu trúc; tuy nhiên, khi vượt quá ngưỡng thích hợp có thể ảnh hưởng bất lợi đến cảm nhận cảm quan. Do đó, điều kiện tối ưu tổng hợp được xác định nằm giữa các vùng tối ưu riêng, cho phép sản phẩm đạt đồng thời độ trắng L* 79,60; độ cứng 71,60 N và điểm cảm quan 18,70; đảm bảo chất lượng cân bằng. Trong điều kiện tối ưu đa mục tiêu, các thông số tương ứng gồm tỷ lệ giấm 2,49 %, thời gian ngâm giấm 12,27 phút, tỷ lệ CaCl₂ 0,7 3% và thời gian ngâm CaCl₂ 12,82 phút

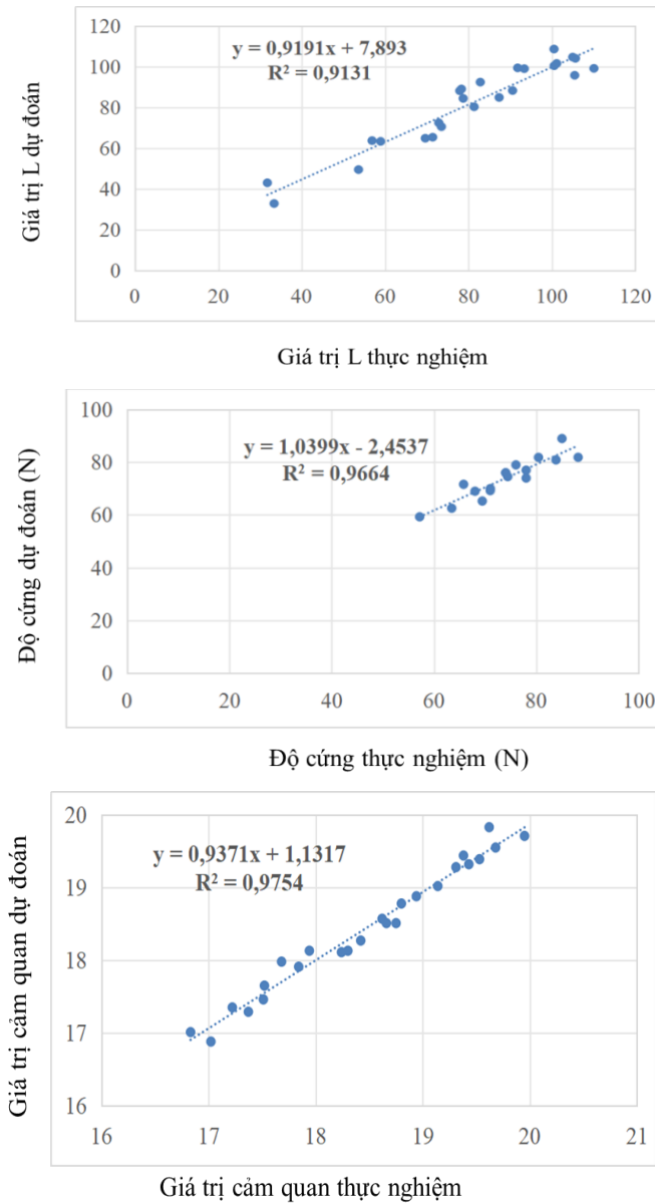
Bảng 1 - Tối ưu hóa các yếu tố tỷ lệ giấm, thời gian ngâm giấm, tỷ lệ CaCl₂ và thời gian ngâm CaCl₂ theo các bề mặt đáp ứng

Nhân tố	Tối ưu từng bề mặt			Tối ưu 3 bề mặt
	Giá trị L*	Độ cứng (N)	Giá trị cảm quan	
Tỷ lệ giấm (%)	3,33	1,79	2,44	2,49
Thời gian ngâm giấm (phút)	12,44	11,97	11,56	12,27
Tỷ lệ CaCl ₂ (%)	0,53	0,82	0,56	0,73
Thời gian ngâm CaCl ₂ (phút)	10,80	14,87	10,21	12,82
Tối ưu từng bề mặt	82,90	72,20	18,90	
Tối ưu cả 3 bề mặt	79,60	71,60	18,70	

3.5 Xây dựng mô hình sản xuất thực nghiệm

Từ mô hình tối ưu, thí nghiệm kiểm chứng được tiến hành với các thông số đã hiệu chỉnh và làm tròn phù hợp điều kiện thực tế gồm: tỷ lệ giấm 2,5 %, thời gian ngâm giấm 12,0 phút, tỷ lệ CaCl₂ 0,75 % và thời gian ngâm CaCl₂ 13 phút. Sản phẩm thu được được đánh giá độ trắng, độ cứng và giá trị cảm quan, đồng thời sử dụng để

khảo sát thị hiếu người tiêu dùng. Các phương trình hồi quy bậc hai được xây dựng nhằm mô tả mối quan hệ giữa các yếu tố công nghệ và chỉ tiêu chất lượng. Kết quả cho thấy hệ số tương quan giữa giá trị thực nghiệm và giá trị dự đoán đạt lần lượt 91,3 % (độ trắng), 96,7 % (độ cứng) và 97,5 % (giá trị cảm quan), khẳng định độ phù hợp và khả năng dự đoán cao của mô hình.



Hình 7. Đồ thị tương quan giữa giá trị thực nghiệm và giá trị dự đoán từ mô hình.

Sau khi hoàn thiện quy trình, sản phẩm được đánh giá thị hiếu người tiêu dùng với 60 người/sản phẩm. Kết quả cho thấy 67 % lượt đánh giá tập trung ở mức điểm 7-9, chứng tỏ mức độ chấp nhận cảm quan cao và khả năng

phát triển thương mại của sản phẩm. Sản phẩm đạt các chỉ tiêu chất lượng với pH = 3,2 và hàm lượng acid 0,5 %, đảm bảo an toàn vi sinh trong bảo quản. Hàm lượng muối 1,2 % và đường 3,2 % tạo vị hài hòa; màu sắc sáng tự nhiên ($L^* = 80$) và độ cứng 72 N phản ánh cấu trúc giòn chắc, đạt điểm cảm quan 18,7/20. Hàm lượng polyphenol tổng đạt 225,5 mg GAE/g cho thấy giá trị sinh học cao. Thành phần dinh dưỡng gồm carbohydrate 6,33 %, xơ thô 1,71 %, acid amin 0,48 % và các khoáng chất thiết yếu (K, P, Fe, Zn) ở mức tương đối cao. Đặc biệt, không phát hiện dư lượng thuốc trừ sâu, khẳng định tính an toàn thực phẩm và tiềm năng ứng dụng thực tiễn của sản phẩm.

4 Kết luận

Kết quả cho thấy bốn yếu tố tiền xử lý đều ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng củ hủ khóm muối chua, trong đó tỷ lệ giấm chi phối độ trắng và giá trị cảm quan, còn tỷ lệ CaCl_2 quyết định độ cứng; các yếu tố thời gian đóng vai trò điều tiết. Tối ưu hóa đồng thời bằng mô hình RSM xác định điều kiện xử lý thực tế thích hợp (giấm 2,5 %, thời gian ngâm giấm 12,0 phút, CaCl_2 0,75 %, thời gian ngâm CaCl_2 13 phút), giúp sản phẩm đạt chất lượng tốt và ổn định. Từ đó, xây dựng cơ sở khoa học cho công đoạn tiền xử lý chế biến sản phẩm muối chua từ phụ phẩm khóm, góp phần phát triển thực phẩm giá trị gia tăng, bền vững và phù hợp với thị hiếu người tiêu dùng.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả đề tài “Nghiên cứu sản xuất một số sản phẩm giá trị gia tăng từ phụ phẩm cây khóm đồn bỏ ở huyện Tân Phước, tỉnh Tiền Giang” xin chân thành cảm ơn Sở Khoa học và Công nghệ Đồng Tháp đã tài trợ kinh phí và Trường Đại học Tiền Giang tạo điều kiện để nhóm thực hiện nội dung nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

1. N. Van Tai, V.Q. Minh, and N.M. Thuy. (2023). Food processing waste in Vietnam: Utilization and prospects in food industry for sustainability development. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences* Vol. 13 No.(1). p. e9926-e9926.
2. T.T.H. Nguyen, N.D. Tran, V.B. Huynh, N.Q. Thi, T.H.A. Bui, T.Y.L. Vo, and T.T.D. Le. (2020). Khảo sát hoạt tính kháng oxy hóa từ cao lá ở thân và lá trên đầu trái cây dứa (*Ananas comosus*) trồng tại vùng Tắc Cậu, Kiên Giang. *Tạp chí khoa học Trường Đại học Trà Vinh*. p. 39-49.
3. R. Di Cagno, R. Coda, M. De Angelis, and M. Gobbetti. (2013). Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation. *Food microbiology* Vol. 33 No.(1). p. 1-10.



4. J. Xu, S. Peng, Y. Xiong, Z. Zheng, M. Liu, J. Xu, W. Chen, M. Liu, J. Kong, and C. Wang. (2024). A review on fermented vegetables: Microbial community and potential upgrading strategy via inoculated fermentation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* Vol. 23No.(3). p. e13362.
5. M.P. Singh, H. Sodhi, and P. Ranote. (2018). Optimization and storage studies of *A. bisporus* vinegar-oil pickle to utilize stipe as a value added product. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* Vol. 7 No.(12). p. 1676-1689.
6. E.M. Wilson, S.D. Johanningsmeier, and J.A. Osborne. (2015). Consumer acceptability of cucumber pickles produced by fermentation in calcium chloride brine for reduced environmental impact. *Journal of Food Science* Vol. 80 No.(6). p. S1360-S1367.
7. D.N. Sila, E. Doungra, C. Smout, A. Van Loey, and M. Hendrickx. (2006). Pectin fraction interconversions: insight into understanding texture evolution of thermally processed carrots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 54 No.(22). p. 8471-8479
8. O.Y. AL-abbasy, W.I. Ali, and N.I. Al-lehebe. (2021). Inhibition of enzymatic browning in fruit and vegetable, *Review. Samarra Journal of Pure and Applied Science* Vol. 3, No.(1). p. 56-73.
9. D.A. Brummell and P.M. Toivonen. (2018). Postharvest physiology of vegetables. *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*. p. 223-245.
10. S. Li, F. Yang, X. Chen, J. Li, and S. Yan. (2025). Acetic Acid Synergizes With Calcium Chloride to Enhance Thermal Stability of Carrots: Mechanisms of Pectin Cross-Linking and Cell Wall Reinforcement. *Journal of Food Science* Vol. 90 No.(9). p. e70516
11. V.P.B. de Medeiros, K.Á.R. de Oliveira, T.S. Queiroga, and E.L. de Souza. (2024). Development and application of mucilage and bioactive compounds from cactaceae to formulate novel and sustainable edible films and coatings to preserve fruits and vegetables—A review. *Foods* Vol. 13 No.(22). p. 3613.
12. Anal, A. K. (2019). Quality Ingredients and Safety Concerns for Traditional Fermented Foods and Beverages from Asia: A Review. *Fermentation*, 5(1), 8.

Optimization of Vinegar and CaCl₂ Treatment Conditions Affecting the Quality of Pickled Pineapple Core Using Response Surface Methodology

Pham Thi Minh Hoang, Huynh Thi Hue Trang, Le Thi Kim Loan, Pham Do Trang Minh, Tran Thuy An¹, Dam Thi Kim Yen

¹Faculty of Agriculture and Food Technology, Tien Giang University, Vietnam

Email: phamthiminhhoang@tgu.edu.vn

Abstract

The pineapple core (củ hủ khóm) is an agricultural by-product rich in dietary fiber, sugars, and minerals but remains underutilized. This study evaluated the effects of pretreatment factors, including vinegar concentration and soaking time, as well as CaCl₂ concentration and soaking time, on the quality of pickled pineapple core products. Response Surface Methodology (RSM) with a Central Composite Design (CCD) was applied to simultaneously optimize lightness (L), firmness (N), and overall sensory score. The results indicated that vinegar concentration had the strongest influence on lightness and sensory attributes, whereas firmness was primarily affected by CaCl₂ concentration and soaking time. The optimal pretreatment conditions were determined as 2.49 % vinegar, 12.27 min vinegar soaking, 0.73 % CaCl₂, and 12.82 min CaCl₂ soaking, yielding a product with lightness of 79.6, firmness of 71.6 N, and a sensory score of 18.7/20. These findings contribute to improving the pretreatment stage in the processing of pickled products from agricultural by-products, promoting value addition and sustainable development.

Keywords Quality; Pineapple core; Pickled pineapple core; Response Surface Methodology; Pretreatment

