Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ
Phần B: Nông nghiệp, Thủy sản và Công nghệ Sinh học
ISSN 1859-2333 | e-ISSN 2815-5599

DOI:10.22144/ctujos.2024.416

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐIỀU KIỆN THỦY PHÂN ĐẾN CHẤT LƯỢNG NƯỚC UỐNG LÊN MEN TỪ XƠ MÍT (*Artocarpus heterophyllus* L.)

Phan Thị Thanh Quế[1*], Võ Thị Diệu[1], Lê Duy Nghĩa[1], Mai Cát Duyên[2] và Dương Thị Phượng Liên[1]
[1]Viện Công nghệ Sinh học và Thực phẩm, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam
[2]Khoa Kỹ thuật công nghệ, Trường Đại học Nam Cần Thơ, Việt Nam
**Tác giả liên hệ (Corresponding author): pttque@ctu.edu.vn*

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 05/03/2024
Sửa bài (Revised): 27/04/2024
Duyệt đăng (Accepted): 03/06/2024

Title: *Effect of hydrolysis conditions on the quality attributes of fermented beverage from the rags of jackfruit (Artocarpus heterophyllus L.)*

Author(s): *Phan Thi Thanh Que[1*], Vo Thi Dieu[1], Le Duy Nghia[1], Mai Cat Duyen[2] and Duong Thi Phuong Lien[1]*

Affiliation(s): *[1]Can Tho University, Viet Nam; [2]Nam Can Tho University, Viet Nam*

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm tận dụng xơ mít để chế biến sản phẩm có giá trị như nước uống lên men. Mục đích của nghiên cứu là xác định điều kiện thủy phân trong quy trình chế biến nước uống lên men từ xơ mít dựa trên việc phân tích hàm lượng ethanol, chất khô hòa tan, polyphenol, flavonoid, hoạt tính chống oxy hóa DPPH và màu sắc sản phẩm. Thiết kế Box-Behnken được bố trí để xác định các thông số tối ưu, bao gồm tỷ lệ nước và xơ mít (1,5; 2,0 và 2,5 lần, v/w), nồng độ enzyme pectinase (0, 0,1 và 0,2% w/v) và thời gian thủy phân (10; 65; 120 phút). Kết quả cho thấy điều kiện tối ưu cho quá trình thủy phân xơ mít với tỷ lệ nước : xơ mít là 1,9; nồng độ enzyme pectinase 0,1% và thời gian thủy phân 65 phút, độ cồn trong sản phẩm đạt khoảng 4,9% (v/v), hàm lượng các hợp chất có hoạt tính sinh học như polyphenol, flavonoid và DPPH lần lượt là 0,511 mgGAE/mL, 0,022 mgQE/mL và 14,54%. Kết quả nghiên cứu cho thấy xơ mít là nguồn nguyên liệu tiềm năng để chế biến nước uống lên men chứa các hợp chất có giá trị sinh học.

Từ khóa: *Box-Behnken, nước uống lên men, tối ưu hóa, xơ mít*

ABSTRACT

This study used jackfruit rags to make the value product like fermented beverages. The objective of this study was to optimise the hydrolysis conditions to process fermented beverage from the rags of jackfruit in terms of analyzing total phenolic, total flavonoids, ethanol content, DPPH scavenging activity and colour of product. Box-Behnken design was applied in order to determine the optimal hydrolysis parameters, including the ratio of water to jackfruit rags (1.5; 2.0 and 2.5 times, v/w), pectinase enzyme concentration (0, 0.1 and 0.2% w/v) and hydrolysis time (10; 65; 120 minutes). The results showed that the optimal condition for fermented beverage from jackfruit rags obtained: a ratio of water to jackfruit rags of 1.9 times, 0.1% concentration of pectinase enzyme and hydrolysis time of 65 minutes, the ethanol content in the jackfruit rags was approximately 4.9% (v/v), the content of biologically active compounds such as polyphenols, flavonoids and DPPH free radical scavenging capacity were 0.511 mgGAE/mL, 0.022 mgQE/mL and 14.54%, respectively. These results suggest that the jackfruit rags are potential raw materials for the processing of fermented beverages with a high value of bioactive compounds.

Keywords: *Box-Behnken, fermented beverage, jackfruit rags, optimization*

1. GIỚI THIỆU

Mít là loại cây ăn quả có giá trị kinh tế cao, được trồng phổ biến trên khắp cả nước, tập trung chủ yếu ở các tỉnh Đồng bằng sông Cửu Long. Quả mít có khối lượng rất lớn so với những loại trái cây khác, trong đó phần thịt quả (ăn được) chỉ chiếm khoảng 29%, xơ mít chiếm 25% tổng khối lượng quả (Dam & Nguyen, 2012). Việc sử dụng một phần nhỏ quả mít gây lãng phí về kinh tế và nguồn nguyên liệu. Mặt khác, phần xơ trong quả mít có mùi thơm và giá trị dinh dưỡng không thua kém so với thịt quả. Theo Photphisutthiphong and Vatanyoopaisarn (2019), xơ mít có chứa carbohydrate, vitamin, khoáng chất, axit hữu cơ, các chất thơm và các hợp chất có hoạt tính sinh học, trong đó carbohydrate chiếm tỷ lệ cao (19,77%), đây là thành phần chính có thể được enzyme phân giải thành đường khử và được dùng làm nguyên liệu sản xuất rượu vang. Do vậy, để giải quyết vấn đề về nguồn dư của quả mít, sản phẩm lên men từ xơ mít làm đồ uống được chú trọng nhằm tạo sự đa dạng thực phẩm và đồ uống trên thị trường. Nước uống lên men có nồng độ cồn thấp, không qua chưng cất, chứa nhiều chất dinh dưỡng và có lợi cho sức khỏe. Hiện nay, sản phẩm này đang là một loại đồ uống giải khát được ưa chuộng trên thị trường thế giới. Sản phẩm được yêu thích không chỉ vì giá trị dinh dưỡng mà vì đây là loại đồ uống thích hợp với mọi lứa tuổi đặc biệt là phụ nữ và người già. Nước trái cây lên men có hàm lượng cồn không cao nhưng đủ tạo nên sự kích thích tiêu hóa, giúp bữa ăn trở nên ngon miệng hơn. Trong quá trình chế biến các loại nước uống từ các loại quả khó thu hồi dịch quả, đặc biệt là xơ mít là nguồn giàu pectin (Akter & Haque, 2019). Do vậy, việc sử dụng enzyme pectinase trong quá trình trích ly giúp đạt được hiệu suất thu hồi dịch quả cao hơn (Demir et al., 2000; Will et al., 2000). Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến quá trình thủy phân bằng enzyme pectinase, trong đó tỷ lệ pha loãng nước và nguyên liệu, nồng độ enzyme pectinase và thời gian thủy phân có ảnh hưởng lớn đến quá trình lên men và chất lượng sản phẩm. Kết quả nghiên cứu của Jadhav et al. (2018) cho thấy rượu mít đạt chất lượng tốt nhất khi pha loãng tỷ lệ nước và nguyên liệu là 1/1 và nồng độ enzyme pectinase sử dụng là 0,1% cho ra sản phẩm đạt chất lượng tốt nhất. Nghiên cứu khác của Bensi et al. (2020) cho thấy sản phẩm nước ép mít đạt năng suất chiết suất cao đến 82% khi sử dụng enzyme pectinase với nồng độ 0,5%, thủy phân trong 2,75 giờ ở nhiệt độ 42,3°C. Nghiên cứu này được thực hiện với mục đích tận dụng hiệu quả nguồn phụ phẩm xơ mít, ứng dụng các công nghệ trích ly dịch quả bằng enzyme để sản xuất các sản phẩm giá trị gia tăng, góp phần nâng cao giá trị sử dụng xơ mít, đồng thời dựa trên cơ sở các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình trích ly dịch xơ mít.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Thí nghiệm được thực hiện tại phòng thí nghiệm Viện Công nghệ Sinh học và Thực phẩm, Trường Đại học Cần Thơ. Nguyên liệu sử dụng trong nghiên cứu là xơ mít từ giống mít Thái. Xơ mít được thu mua cố định tại các vựa mít và công ty chế biến thực phẩm sử dụng nguồn nguyên liệu giống mít Thái trồng tại tỉnh Hậu Giang và vận chuyển về phòng thí nghiệm để thực hiện nghiên cứu. Chế phẩm enzyme sử dụng trong nghiên cứu thuộc nhóm enzyme pectinase (Pectinex Ultra SP-L, Novozyme, Đan Mạch).

2.2. Bố trí thí nghiệm

Để có cơ sở đánh giá chất lượng nguyên liệu sử dụng trong nghiên cứu, các chỉ tiêu hóa lý cơ bản của nguyên liệu xơ mít được phân tích trước khi tiến hành thí nghiệm. Thí nghiệm được bố trí trên cơ sở kết quả nghiên cứu của Jadhav et al. (2018), Bensi et al. (2020) và kết quả nghiên cứu thăm dò từng yếu tố độc lập ảnh hưởng đến quá trình thủy phân xơ mít trong chế biến sản phẩm nước uống lên men từ xơ mít, thí nghiệm tối ưu hóa cho quá trình thủy phân bằng chế phẩm enzyme pectinase được thiết lập với ba yếu tố gồm tỷ lệ nước/xơ mít (X_1: 1,5; 2,0 và 2,5; v/w), nồng độ enzyme pectinase (X_2: 0; 0,1 và 0,2%, w/v) và thời gian thủy phân (X_3: 10, 65 và 120 phút,). Các tiêu chí chất lượng sản phẩm để lựa chọn các thông số tối ưu hóa là màu sắc (giá trị L^* và b^*), các hợp chất polyphenol (TPC), flavonoid (TFC) và khả năng loại gốc tự do DPPH. Thiết kế Box-Behnken được thực hiện bằng phần mềm Statgraphics Centurion 15.2.11.0 gồm 15 nghiệm thức với 3 điểm trung tâm và được trình bày cụ thể ở Bảng 1.

Nguyên liệu xơ mít thu mua dựa trên chỉ tiêu cảm quan (màu hơi vàng, không bị xơ đen) và hàm lượng chất khô hòa tan (15-17%). Xơ mít được vận chuyển về đến phòng thí nghiệm, rửa sạch, để ráo nhằm loại bỏ tạp chất và vi sinh vật bám trên bề mặt nguyên liệu, sau đó tiến hành phân tích các chỉ tiêu chất lượng của nguyên liệu. Xơ mít được xay nhuyễn với nước, thủy phân hỗn hợp với chế phẩm enzyme pectinase ở các mức tỷ lệ nước/xơ mít, nồng độ enzyme và thời gian thủy phân thay đổi như bố trí thí nghiệm. Sau quá trình thủy phân, hỗn hợp được lọc để thu lấy dịch quả và điều chỉnh hàm lượng chất khô hòa tan trong dịch quả bằng cách bổ

sung đường saccharose đến độ Brix 22%. Thanh trùng dịch quả bằng $NaHSO_3$ với nồng độ 130 ppm ở nhiệt độ môi trường trong thời gian 2 giờ để tiêu diệt vi sinh vật không có ích cho quá trình lên men; bổ sung 0,01% (w/w) nấm men *Saccharomyces cerevisiae* (Safinstant, Mexico) đã được hoạt hóa với mật số 1 Log CFU/mL. Quá trình lên men được tiến hành ở nhiệt độ phòng trong thời gian 40-48 giờ đến khi dịch lên men đạt độ cồn 5-6% (v/v) và tiến hành phân tích hàm lượng ethanol, đo màu sắc (L^*, b^*), hàm lượng các hợp chất sinh học (polyphenol, flavonoid tổng số), khả năng loại bỏ gốc tự do (DPPH). Khối lượng nguyên liệu xơ mít sử dụng là 1 kg/nghiệm thức, thí nghiệm lặp lại 3 lần.

Bảng 1. Thiết kế Box–Behnken cho các biến nhân tố thủy phân xơ mít

Biến độc lập (nhân tố)	**Tỷ lệ nước/xơ mít (v/w) (X_1)**	**Nồng độ enzyme (%, w/v); (X_2)**	**Thời gian thủy phân (phút); (X_3)**
Mức cao	2,5 (+1)	0,2 (+1)	120 (+1)
Trung bình	2,0 (0)	0,1 (0)	65 (0)
Mức thấp	1,5 (-1)	0 (-1)	10 (-1)
Thứ tự mẫu	X_1	X_2	X_3
1	0	0	0
2	0	+1	+1
3	0	-1	+1
4	+1	0	+1
5	0	0	0
6	0	+1	-1
7	0	-1	-1
8	+1	+1	0
9	+1	0	-1
10	-1	+1	0
11	-1	0	+1
12	+1	-1	0
13	0	0	0
14	-1	-1	0
15	-1	0	-1

2.3. Phương pháp phân tích

Hàm lượng polyphenol tổng số được xác định bằng phương pháp Folin-Ciocalteu theo Singleton et al. (1999). Hàm lượng tổng flavonoid được xác định bằng phương pháp so màu phức với clorua nhôm theo Zhu et al. (2010). Khả năng loại bỏ gốc tự do DPPH được xác định bằng phương pháp so màu từ phản ứng với dung dịch DPPH trong methanol theo Mensor et al. (2001). Màu sắc (L^*, b^*) được xác định bằng cách sử dụng thiết bị đo màu Colorimeter (Konica Minolta CR-20, Nhật). Độ cồn (% thể tích ethanol ở 20°C) được xác định theo phương pháp AOAC 982.10-1985. Độ ẩm xác định bằng phương pháp sấy ở nhiệt độ 105°C đến khối lượng không đổi (TCVN 1867:2001). Hàm lượng đường tổng định lượng bằng phương pháp Lane-Eynon (Lane & Eynon, 1924).

2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Số liệu từ thiết kế tối ưu hóa của các biến tiêu chí được phân tích hồi quy đa biến và xác định các thông số tối ưu của quá trình thủy phân bằng phần mềm Statgraphics Centurion 15.2.11.0.

Hàm toán học Y_i, thể hiện biến tiêu chí (giá trị màu L^* và b^*, polyphenol, flavonoid, DPPH), tương quan với ba biến độc lập (thông số của quá trình); cụ thể:

X_1: Tỷ lệ nước/xơ mít (v/w);

X_2: Nồng độ enzyme pectinase (%, w/v); và

X_3: Thời gian thủy phân (phút).

Phương trình hồi quy đa biến có dạng:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_{11}X_1^2 + \beta_{22}X_2^2 + \beta_{33}X_3^2 + \beta_{12}X_1X_2 + \beta_{13}X_1X_3 + \beta_{23}X_2X_3$$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thành phần hóa học nguyên liệu xơ mít

Thành phần hóa học nguyên liệu xơ mít là yếu tố quan trọng ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng sản phẩm nước uống lên men trong quá trình chế biến. Thành phần hóa học là các hợp chất hữu cơ và vô cơ cấu tạo nên tế bào của trái. Thành phần hóa học thay đổi tùy theo giống, điều kiện canh tác, thời điểm thu hoạch. Vì vậy, việc xác định các thành phần cơ bản ban đầu của xơ mít là rất cần thiết, giúp cho việc lựa chọn phương pháp chế biến thích hợp (Nguyen et al., 2006). Kết quả phân tích được tổng hợp ở Bảng 2.

Bảng 2. Thành phần hóa học nguyên liệu xơ mít

Chỉ tiêu phân tích	Hàm lượng*
Độ ẩm (%)	71,63±2,26
Chất khô hòa tan (%)	17,96±1,67
Đường tổng số (%)	13,73±1,05
Axit tổng số (%)	0,13±0,04
Vitamin C (mg/100 g)	1,50±0,12
Polyphenol tổng số (mgGAE/g chất khô)	1,18±0,09
Flavonoid tổng số (mgQE/g chất khô)	0,32±0,05
Khả năng loại gốc tự do, DPPH (%)	28,10±2,41

**Kết quả trung bình của 3 lần lặp lại. Sai số thể hiện trong bảng là độ lệch chuẩn (STD) của giá trị trung bình*

Kết quả Bảng 2 cho thấy nguồn nguyên liệu xơ mít Thái sử dụng trong nghiên cứu chứa hàm lượng đường tổng là 13,73%, cao hơn hàm lượng đường tổng có trong xơ mít nghệ (6,82%) và xơ mít dừa (2,30%) (Nguyen, 2010). Chất khô hòa tan trong xơ mít Thái cũng chiếm tỷ lệ cao (17,96%). Trong đó, đường là thành phần chính trong tổng hàm lượng các chất khô hòa tan, ngoài ra còn các thành phần khác như axit, chất thơm, vitamin, enzyme, chất khoáng và muối của các axit hữu cơ, thích hợp để tận dụng chế biến nước uống lên men. Kết quả phân tích hàm lượng vitamin C và axit tổng số trong xơ mít Thái thấp hơn kết quả khảo sát nguyên liệu xơ mít của Tong et al. (2018) với giá trị lần lượt là 3,5 mg/100 g và 0,29%. Theo Tran (2011), tất cả các loại quả nếu có chứa đường, protein, muối khoáng và không chứa các chất độc hại đối với nấm men đều có thể sử dụng để chế biến nước lên men và rượu. Tuy nhiên, trong quá trình chế biến có giai đoạn pha loãng dịch quả, vì vậy cần phối chế thích hợp để tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình lên men xảy ra hiệu quả. Bên cạnh đó, sự hiện diện của các hợp chất có hoạt tính sinh học trong xơ mít như polyphenol, flavonoid, hoạt tính chống oxy hóa DPPH có tác động tích cực đến giá trị dinh dưỡng của sản phẩm. Như vậy, từ kết quả phân tích Bảng 2 cho thấy xơ mít từ giống mít Thái thích hợp để tận dụng chế biến nước uống lên men.

3.2. Ảnh hưởng của tỷ lệ nước/xơ mít, nồng độ enzyme và thời gian thủy phân đến độ Brix, hàm lượng ethanol trong sản phẩm

Hàm lượng chất khô hòa tan (°Brix) còn lại sau quá trình lên men và ethanol trong sản phẩm là chỉ tiêu quan trọng dùng để đánh giá khả năng lên men của nấm men, chất lượng cũng như nhiều điều kiện bảo quản đối với sản phẩm nước lên men (Luong, 2006). Kết quả ảnh hưởng của các nhân tố tỷ lệ nước/xơ mít, nồng độ enzyme và thời gian thủy phân đến °Brix và hàm lượng ethanol của dịch xơ mít lên men được thể hiện ở Bảng 3. Kết quả cho thấy nghiệm thức 14 (tỷ lệ nước/xơ mít 1,5 lần, không bổ sung enzyme, thời gian thủy phân 65 phút) cho hàm lượng ethanol cao nhất và °Brix còn lại thấp nhất trong 15 nghiệm thức, lần lượt là 6,2% (v/v) và 14,17%. Ngược lại, nghiệm thức 4 (tỷ lệ nước/xơ mít 2,5, nồng độ enzyme 0,1%, thời gian thủy phân 120 phút) cho hàm lượng ethanol trung bình thấp nhất và °Brix còn lại cao nhất, lần lượt là 4,3% (v/v) và 17,33%. Các nghiệm thức có tỷ lệ pha loãng khác nhau cho °Brix và hàm lượng ethanol khác nhau. Những nghiệm thức có tỷ lệ pha loãng càng cao hàm lượng ethanol càng thấp. Nguyên nhân có thể là do thành phần dinh dưỡng như đạm, khoáng, vitamin, các chất kích thích sinh trưởng cho tế bào nấm men trong dịch lên men giảm dần khi tỷ lệ pha loãng càng cao nên nấm men hoạt động yếu. Nấm men cần có nguồn dinh dưỡng để phát triển, trong đó đường và khoáng đóng vai trò quan trọng trong sự trao đổi chất để duy trì sự sinh trưởng và phát triển của nấm men.

Bên cạnh đó, Bảng 3 cho thấy nồng độ enzyme có ảnh hưởng đến hàm lượng ethanol. Việc bổ sung chế phẩm enzyme pectinase để làm chất xúc tác cho quá trình thủy phân pectin và nhóm methyl của pectin, tạo sự phân cắt pectin dẫn đến giảm khả năng giữ nước, tạo điều kiện nước và các chất khoáng trong tế bào thoát ra, làm cho độ nhớt của hỗn hợp nước trái cây giảm (Kashyap et al., 2001). Khi nồng độ enzyme càng cao thì quá trình thủy phân diễn ra càng triệt để. Tuy nhiên, theo Jiang et al. (2020) thì enzyme pectinase có thể ảnh hưởng đến cấu trúc của tế bào nấm men từ đó ảnh hưởng đến hoạt động chuyển hóa của nấm men trong quá trình lên men.

Ngoài ra, nếu không bổ sung enzyme pectinase thì tỷ lệ thu hồi dịch quả thấp, làm cho sản phẩm bị

đục và dễ lắng cặn (Nguyen et al., 2002). Do đó, việc xác định nồng độ enzyme bổ sung phù hợp là cần thiết để trích ly hiệu quả dịch quả mà không ảnh hưởng đến quá trình lên men hay lãng phí enzyme. Bên cạnh đó, thời gian thủy phân quá ngắn hay quá dài sẽ làm cho hàm lượng ethanol sinh ra thấp (các nghiệm thức có thời gian thủy phân 10 và 120 phút). Thời gian thủy phân có vai trò làm tăng khả năng tiếp xúc giữa nguyên liệu và enzyme pectinase để các chất khoáng dễ dàng di chuyển ra bên ngoài. Tuy nhiên, lượng cơ chất được cố định và giảm dần theo thời gian thủy phân; do đó, nếu kéo dài thời gian thủy phân cũng không tạo ra sản phẩm nhiều hơn mà có thể mất nhiều thời gian, dịch quả bị chua do sự phát triển của các loài vi sinh vật khác, ảnh hưởng đến giai đoạn lên men (Jacob, 2009).

Bảng 3. Ảnh hưởng của tỷ lệ nước/xơ mít, nồng độ enzyme và thời gian thủy phân đến ºBrix, hàm lượng ethanol

Nghiệm thức	Tỷ lệ nước/xơ mít (v/w)	Nồng độ enzyme (%, w/v)	Thời gian thủy phân (phút)	Độ Brix (%)	Ethanol (%, v/v)
1	2,0	0,1	65	16,67^{b}	4,90^{defg}
2	2,0	0,2	120	16,83^{b}	4,57^{efg}
3	2,0	0,0	120	15,67^{cd}	5,65^{abc}
4	2,5	0,1	120	17,33^{ab}	4,30^{g}
5	2,0	0,1	65	16,83^{b}	4,93^{def}
6	2,0	0,2	10	17,00^{ab}	4,36^{fg}
7	2,0	0,0	10	16,50^{bc}	4,70^{efg}
8	2,5	0,2	65	17,00^{ab}	4,65^{efg}
9	2,5	0,1	10	17,83^{a}	4,40^{fg}
10	1,5	0,2	65	15,50^{d}	5,80^{ab}
11	1,5	0,1	120	15,50^{d}	6,10^{a}
12	2,5	0,0	65	16,67^{b}	5,10^{cde}
13	2,0	0,1	65	16,83^{b}	4,83^{defg}
14	1,5	0,0	65	14,17^{e}	6,20^{a}
15	1,5	0,1	10	15,67^{cd}	5,37^{bcd}

Ghi chú: Giá trị trung bình trong cùng một cột có các chữ cái a, b, c khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa 5%

3.3. Tối ưu hóa quá trình thủy phân cho sản phẩm nước uống lên men từ xơ mít

3.3.1. Thiết lập mô hình hồi qui

Mô hình hồi qui của các tiêu chí chất lượng sản phẩm như màu sắc (L^*, b^*), TPC, TFC và khả năng loại gốc tự do DPPH theo 3 nhân tố tỷ lệ nước/xơ mít (X_1), nồng độ enzyme pectinase (X_2) và thời gian thủy phân (X_3) được thể hiện ở Bảng 4 và Hình 1. Giá trị - lack of fit (thể hiện sai biệt do không phù hợp với phương trình hồi quy) của các mô hình hồi qui đều > 0,05 đã cho thấy mô hình phù hợp với số liệu thực nghiệm (Zabeti et al., 2009). Theo Joglekar and May (1987), mô hình tương quan tốt cần có hệ số xác định $R^2 > 0,8$. Các giá trị R^2 của các mô hình đều lớn hơn 0,95 (Bảng 4) cho thấy không có nghi vấn gì về các mô hình hồi qui mô phỏng các biến theo nhân tố khảo sát.

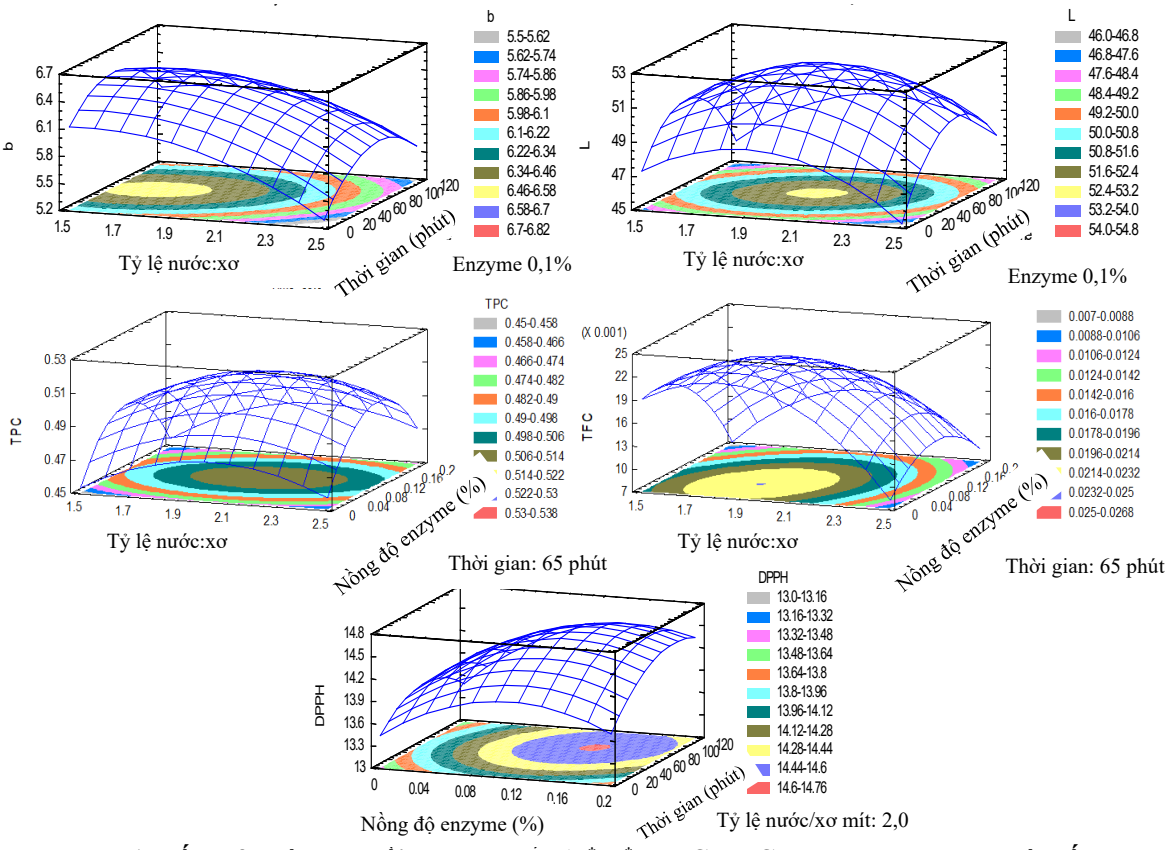
Tỷ lệ nước/xơ mít và thời gian lên men có ảnh hưởng lớn đến màu sắc (L^*, b^*) của dịch lên men. Trong đó, giá trị màu b^* chịu tác động chính bởi tỷ lệ nước/xơ mít (cả bậc 1 và bậc 2 của phương trình với mức ý nghĩa 0,05; 0,01 và 0,001), trong khi bậc một và hai của biến nồng độ enzyme bổ sung không ảnh hưởng đáng kể đến màu sắc b^* sản phẩm. Với giá trị màu L^*, cả hai nhân tố tỷ lệ nước/xơ mít và thời gian thủy phân (cả bậc 1 và bậc 2 của phương trình và tương tác giữa 2 nhân tố) là yếu tố quan trọng tác động có ý nghĩa nhất đến màu sắc L^* của sản phẩm (Bảng 4). Khi tỷ lệ pha loãng càng tăng thì lượng nước sử dụng càng nhiều, làm loãng các thành phần đang hiện diện trong dịch quả nên màu nước uống lên men bị nhạt. Ngoài ra, vitamin C có trong sản phẩm là chất có khả năng làm giảm các dẫn xuất o-quinone hình thành từ quá trình oxy hóa enzyme của các hợp chất phenolic, có thể ngăn chặn quá trình sẫm màu, làm cho sản phẩm có màu sáng

hơn (Barril et al., 2009). Tuy nhiên, khi thời gian thủy phân dài (120 phút) thì màu sắc sản phẩm trở nên nhạt và sậm màu hơn (Hình 1). Theo Ferreiara and Rodriguez-Amaya (2008), carotenoid dễ bị phá hủy bởi các tác nhân như các phản ứng pectolytic, ánh sáng, nhiệt độ quá trình oxy hóa. Khi thời gian thủy phân càng dài, sự phân hủy các hợp chất carotenoids trong quá trình xử lý enzyme diễn ra càng mạnh nên màu càng sẫm và nhạt.

Bảng 4. Hệ số phương trình hồi quy đa biến

Hệ số	Màu sắc (L^*)	Màu sắc (b^*)	TPC	TFC	DPPH
β_0	9,975	4,4575	0,136496	-0,0883542	6,24708
β_1	NS	2,645**	0,307092*	0,106192*	NS
β_2	NS	NS	NS	-0,0380417*	9,88333**
β_3	0,0622708*	NS	NS	NS	0,0199097**
β_{11}	-10,2995**	-0,965*	-0,0737167**	-0,0290667*	-1,73167**
β_{12}	NS	3,8*	NS	NS	NS
β_{13}	0,0282583*	NS	NS	NS	-0,00408333**
β_{22}	-306,137***	NS	-3,50542**	-0,431667*	-44,5417**
β_{23}	NS	NS	-0,00138333*	NS	0,025*
β_{33}	-0,000930104***	-0,000110764*	-0,00000273032*	-0,0000028588**	-0,0000924769**
R^2	0,983	0,991	0,951	0,976	0,980
Lack of fit	0,056	0,928	0,089	0,336	0,088

*(NS: Không có ý nghĩa; *, ** và *** thể hiện mức độ ý nghĩa tương ứng với 0,05; 0,01 và 0,001)*



Hình 1. Kết quả phân tích hồi quy màu sắc (L^*, b^*), TPC, TFC và DPPH theo các nhân tố

Kết quả Bảng 4 và Hình 1 cho thấy hàm lượng TPC và TFC bị ảnh hưởng chủ yếu bởi nhân tố tỷ lệ nước/xơ mít (cả bậc 1, bậc 2 của phương trình với mức ý nghĩa 0,05 và 0,01) và bị ảnh hưởng một phần bởi nồng độ enzyme và thời gian thủy phân (bậc 2 của phương trình). Khi tăng tỷ lệ pha loãng nước/xơ

mít từ 1,5 đến 2,0 (v/w), nồng độ enzyme pectinase từ 0 đến 0,1% với thời gian thủy phân 65 phút thì hàm lượng TPC và TFC tăng. Tuy nhiên, khi tiếp tục gia tăng giá trị các nhân tố trên thì hàm lượng TPC và TFC bắt đầu giảm dần (Hình 1), do lượng nước sử dụng càng nhiều làm loãng các thành phần đang hiện diện trong sản phẩm. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Wang et al. (2009) về sự gia tăng đáng kể các hợp chất phenolic khi bổ sung enzyme pectinase trong chế biến nước ép từ các loại quả mọng. Theo Wang et al. (2009), khi cơ chất tiếp xúc với enzyme pectinase, phá vỡ thành tế bào sẽ phóng thích phenolic từ các hợp chất phenol ở dạng liên kết, có sự chuyển hóa hợp chất phenolic ở dạng không hòa tan thành hòa tan, có sự phân hủy các lignin dẫn đến phóng thích axit phenolic hoặc làm phát sinh thêm phenolic mới, làm cho TPC trong dịch quả tăng. Khi thừa cơ chất mà nồng độ enzyme tăng thì tốc độ phản ứng tăng, khi nồng độ enzyme bão hòa với nồng độ cơ chất thì vận tốc phản ứng không thay đổi hoặc không tăng thêm. Neidhart et al. (2002) và Sharma et al. (2014) cũng cho rằng khi xử lý enzyme làm tăng khả năng phá hủy tế bào, tăng khả năng hòa tan làm giảm độ nhớt dung dịch và giải phóng các hợp chất có hoạt tính sinh học. Tuy thời gian thủy phân không ảnh hưởng lớn đến hàm lượng TPC và TFC trong sản phẩm (Bảng 4), nhưng khi thời gian thủy phân đủ dài giúp cơ chất tiếp xúc với enzyme pectinase phá vỡ tế bào, phóng thích các hợp chất polyphenol và flavonoid ra môi trường. Nếu thời gian thủy phân quá dài (120 phút), các hợp chất đã được phóng thích ra môi trường tiếp xúc quá lâu với không khí rất dễ bị oxy hóa, dẫn đến polyphenol và flavonoid trong dịch quả giảm.

Khả năng loại gốc tự do phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó quan trọng nhất là hàm lượng các hợp chất có hoạt tính sinh học trong sản phẩm (Gardner et al., 2000). Hoạt tính chống oxy hóa DPPH trong dịch lên men bị ảnh hưởng nhiều nhất bởi nồng độ enzyme và thời gian thủy phân (cả bậc 1, bậc 2 của phương trình) và đồng thời có sự tương tác giữa tỷ lệ nước/xơ mít và thời gian thủy phân ($p<0,01$) (Bảng 4). Khi tăng nồng độ enzyme pectinase từ 0 đến 0,1% với thời gian thủy phân từ 10 đến 65 phút cho khả năng loại gốc tự do DPPH cao (Hình 1). Tuy nhiên, khi nồng độ enzyme càng cao làm cho các hợp chất có khả năng kháng oxy hóa bị phân hủy, làm tăng các phản ứng hóa học, có sự oxy hóa các chất béo trong nguyên liệu hình thành các gốc tự do mới. Đồng thời, thời gian thủy phân quá dài làm cho các chất có hoạt tính sinh học TPC và TFC dễ bị oxy hóa như đề cập ở trên. Chất lượng và số lượng các hợp chất này giảm nên sẽ làm giảm khả năng loại gốc tự do.

3.3.2. Tối ưu hóa đồng thời nhiều biến bề mặt đáp ứng

Bảng 5 cho phép lựa chọn thông số tối ưu của quá trình thủy phân cho từng tiêu chí hoặc kết hợp các tiêu chí với nhau, cụ thể như chọn thông số tối ưu cho sản phẩm có màu vàng (b^* cao) khi tỷ lệ pha loãng nước/xơ mít và nồng độ enzyme bổ sung ở mức thấp, lần lượt là 1,5 lần và 0,02%, các hợp chất có hoạt tính sinh học TPC, TFC và DPPH duy trì ở mức cao, cụ thể TPC có khuynh hướng cao khi 3 nhân tố tỷ lệ nước/xơ mít, nồng độ enzyme pectinase và thời gian thủy phân duy trì ở mức trung bình. Trong khi đó, khả năng loại bỏ gốc tự do cao khi tăng nồng độ enzyme (0,14%) và thời gian thủy phân (83 phút).

Bảng 5. Giá trị tối ưu của các nhân tố theo các biến tiêu chí

Biến tiêu chí (giá trị tối đa)	X_1	X_2	X_3
Giá trị L^* (52,52)	1,98	0,10	63,03
Giá trị b^* (6,65)	1,50	0,02	55,67
TPC (0,513 mgGAE/mL)	2,08	0,11	54,01
TFC (0,023 mgQE/mL)	1,87	0,06	64,14
Khả năng loại gốc tự do DPPH (14,61%)	1,94	0,14	83,17
Giá trị L^*, b^* (52,33 và 6,48)	1,86	0,09	51,54
TPC, TFC, DPPH (0,511 mgGAE/mL, 0,022 mgQE/mL và 14,54%)	1,92	0,11	66,23
Tất cả các tiêu chí			
- Giá trị L^*(52,45), b^* (6,44)			
- Hàm lượng TPC (0,511 mgGAE/mL)	1,91	0,10	64,94
- Hàm lượng TFC (0,022 mgQE/mL)			
- Khả năng loại gốc tự do DPPH (14,54%)			

Trong trường hợp tối ưu hóa cho tất cả các tiêu chí, các thông số tối ưu của quá trình thủy phân là pha loãng xơ mít với tỷ lệ nước/xơ mít 1,91 v/w (để thuận tiện có thể chọn tỷ lệ 1,9), nồng độ enzyme pectinase 0,1% với thời gian thủy phân 64,94 phút

(để thuận tiện có thể chọn thời gian thủy phân 65 phút). Với những thông số tối ưu này thì sản phẩm đạt màu sắc đẹp (vàng sáng) với giá trị L^* 52,45 và b^* 6,44; hàm lượng các hợp chất có hoạt tính sinh học như TPC, TFC và DPPH đạt giá trị cao lần lượt là 0,511 mgGAE/mL, 0,022 mgQE/mL và 14,54%.

4. KẾT LUẬN

Điều kiện thủy phân xơ mít có ảnh hưởng đến quá trình lên men và chất lượng sản phẩm nước uống lên men từ xơ mít. Thông số tối ưu cho quá trình thủy phân xơ mít với tỷ lệ pha loãng nước và xơ mít là 1,9 lần, nồng độ enzyme pectinase bổ sung 0,1% và thời gian thủy phân 65 phút thu được sản phẩm có màu vàng sáng đẹp, có chứa hàm lượng các hợp chất sinh học như polyphenol, flavonoid và DPPH duy trì ở mức khá cao, lần lượt là 0,511 mgGAE/mL, 0,022 mgQE/mL và 14,54%. Với kết quả thu được cho thấy triển vọng có khả năng tận dụng nguồn phụ phẩm xơ mít để phát triển sản phẩm mới, nước uống lên men từ xơ mít.

LỜI CẢM TẠ

Nghiên cứu được thực hiện thông qua sự tài trợ kinh phí từ đề tài nghiên cứu khoa học cấp Tỉnh, "Nghiên cứu quy trình công nghệ sản xuất đa dạng hóa các sản phẩm từ nguồn nguyên liệu mít trên địa bàn tỉnh Hậu Giang", mã số: DP2022-14 thuộc Sở Khoa học và Công nghệ Tỉnh Hậu Giang.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

Akter, F., & Haque, M. (2019). Jackfruit waste: a promising source of food and feed. *Annals of Bangladesh Agriculture, 23*(1), 91-102. https://doi.org/10.3329/aba.v23i1.51477

Barril, C., Clark, A. C., Prenzler, P. D., Karuso, P., & Scollary, G. R. (2009). Formation of pigment precursor (+)-1 "methylene-6-hydroxy-2H-furan-5"- one-catechin isomers from (+)-catechin and a degradation product of ascorbic acid in a model wine system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57*, 9539-9546. https://doi.org/10.1021/jf902198e

Bensi, P. S., Meena Kumari, K. S., Mini, C., Joseph, B., Divakar, S., & Krishnaja, U. (2020). Optimizing conditions for enzymatic extraction of juice from jackfruit (Koozha) using response surface methodology. *European Journal of Nutrition & Food Safety, 12*(6), 23-31. https://doi.org/10.9734/ejnfs/2020/v12i630235

Dam, S., & Nguyen, N. (2012). Production of fermented beverage from fruit rags of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*). In: *Southeast Asia Symposium on Quality Management in Postharvest Systems and Asia Pacific Symposium on Postharvest Quality*, 989, 285-292. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.989.37

Demir, N., Acar, J., Sarioglu, K., & Mutlu, M. (2000). The use of commercial pectinase in fruit juice industry. Part 3: Immobilized pectinase for mash treatment. *Journal of Food Engineering, 47*(4), 275-280. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00127-8

Ferreira, J. E. M., & Rodriguez-Amaya, D. B. (2008). Degradation of lycopene and β-carotene in model systems and in lyophilized guava during ambient storage: Kinetics, structure, and matrix effects. *Journal of Food Science, 73*(8), C589-C594. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00919.x

Gardner, P. T., White, T. A., McPhai, D. B., & Duthie, G. G. (2000). The relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. *Food Chemistry*, *68*(4), 471-474. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00225-3

Jacob, N. (2009). Pectinolytic enzymes. In P. S. nee' Nigam & A. Pandey (Eds.), *Biotechnology for Agro-industrial Residues utilization* (pp. 383-396). Dordrecht, Netherlands: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9942-7_21

Jadhav, A. P., Gokhale, N. B., Kasture, M. C., Pawar, C. D., & Salvi, V. G. (2018). Effect of different levels of dilutions and pectinase enzyme on the quality of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) must. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 7*(4), 433-435.

Jiang, X., Lu, Y., & Liu, S. Q. (2020). Effects of pectinase treatment on the physicochemical and oenological properties of red dragon fruit wine fermented with *Torulaspora delbrueckii*. *LWT*, 132. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109929

Joglekar, A. M., & May, A. T. (1987). Product excellence through the design of experiments. *Cereal Foods World, 32*(12), 857-868.

Kashyap, D. R., Vohra, P. K., Chopra, S., & Tewari, R. (2001). Applications of pectinases in the commercial sector: a review. *Bioresource Technology, 77*(3), 215-227. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00118-8

Lane, J. H., & Eynon, L. (1924). Estimation of sugar in urine by means of Fehling's solution with methylene blue as internal indicator. *Analyst, 49*(581), 366-371. https://doi.org/10.1039/an9244900366

Mensor, L. L., Menezes, F. S., Leitão, G. G., Reis, A. S., Santos, T. C. D., Coube, C. S., & Leitão, S. G. (2001). Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. *Phytotherapy Research, 15*(2), 127-130. https://doi.org/10.1002/ptr.687

Neidhart, S., Reiter, M., Mensah-Wilson, M., Stemmer, G., Braig, C., Sevinç, S., & Carle, R. (2002). Possibilities for improving the quality of fruit juices and drinks from tropical fruits by homogenization and addition of pectin. In *International Symposium Sustaining Food Security and Managing Natural Resources in Southeast Asia*, 8-11.

Tong, T. A. N., Bui, T. A. N., Nguyen, T. M. N., & Ngo, M. Q. (2018). Effect of pH and total soluble solids on the fermentation process of the rags of Thai jackfruit cultivar (*Artocarpus heterophyllus*). *Can Tho University Journal of Science, 54 (Agriculture)*, 211-218 *(in Vietnamese)*. https://doi.org/10.22144/ctu.jsi.2018.084

Luong, D. P. (2006). Yeast industry. Science and Technics Publishing House *(in Vietnamese)*.

Photphisutthiphong, Y., & Vatanyoopaisarn, S. (2019). Production of vinegar from jackfruit rags and jackfruit seeds. *The Journal of Applied Science, 18*(1), 75-93. https://doi.org/10.14416/j.appsci.2019.03.002

Nguyen, T. T. S. (2010). Preliminary study on fermentation from the rags of ripe jackfruit. *Journal of Science and Applications, 12*, 28-29 *(in Vietnamese)*.

Sharma, H. P., Patel, H., & Sharma, S. (2014). Enzymatic extraction and clarification of juice from various fruits: A Review. *Trends in Post Harvest Technology, 2*(1), 01-14.

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. M. (1999). Analysis of total phenol and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymology, 299*, 152-78. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1

Nguyen, Q. T., Le, T. H. N., Dong, T. T. T., & Nguyen, T. T. T. (2002). Purification and immobilization of pectinase extracted from some molds. In *Proceedings 3rd Scientific Conference* (187-193). Vietnam National University Ho Chi Minh City, University of Science *(in Vietnamese)*.

Tran, T. T. (2011). Microbiological technology. Vietnam Education Publishing House *(in Vietnamese)*.

Nguyen, T. B. T., Tran, T. L. H., & Nhu, T. N. (2006). Textbook on preservation and processing of fruit and vegetable products. Vietnam Education Publishing House *(in Vietnamese)*.

Wang, W. D., Xu, S. Y,. & Jin, M. K. (2009). Effects of different maceration enzymes on yield, clarity and anthocyanin and other polyphenol contents in blackberry juice. *International Journal of Food Science & Technology, 44*(12), 2342-2349. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01637.x

Will, F., Bauckhage, K., & Dietrich, H. (2000). Apple pomace liquefaction with pectinase and cellulase analytical data of the corresponding juices. *European Food Research and Technology, 211*(4), 291-297. https://doi.org/10.1007/s002170000171

Zabeti, M., Daud, W. M. A. W., & Aroua, M. K. (2009). Optimization of the activity of CaO/Al_2O_3 catalyst for biodiesel production using response surface methodology. *Applied Catalysis A: General, 366*(1), 154-159. https://doi.org/10.1016/j.apcata.2009.06.047

Zhu, H., Wang, Y., Liu, Y., Xia, Y., & Tang, T. (2010). Analysis of flavonoids in *Portulaca oleracea* L. by UV-vis spectrophotometry with comparative study on different extraction technologies. *Food Analytical Methods, 3*(2), 90-97. https://doi.org/10.1007/s12161-009-9091-2