

SỬ DỤNG SÓNG SIÊU ÂM ĐỂ THU NHẬN DỊCH QUẢ TRÂM (*Syzygium cumini*) GIÀU HOẠT TÍNH KHÁNG OXY HÓA

Đến tòa soạn 08-03-2021

Nguyễn Vĩnh Phúc, Phan Nhật Dương, Trần Thị Thu Trà, Lê Văn Việt Mẫn
Trường Đại Học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

SUMMARY

USE OF ULTRASOUND IN THE PRODUCTION OF *Syzygium cumini* JUICE WITH HIGH ANTIOXYDANT ACTIVITY

Syzygium cumini fruit is rich in antioxidants including ascorbic acid and phenolic compounds. In this study, ultrasound was used in treatment of the ground *Syzygium cumini* fruit for improvement in antioxidant activity of the fruit juice. Firstly, the effects of ultrasonic power and sonication time on the level of ascorbic acid, total phenolics anthocyanin and antioxidant activity of *Syzygium cumini* fruit extract were investigated. Response Surface Methodology (RSM) was then used to optimize the conditions of ultrasound-assisted extraction of the *Syzygium cumini* fruit juice. The optimal conditions were the ultrasonic power of 6,6 W/g and sonication time of 1,5 min under which the ascorbic acid, phenolic, anthocyanin contents and the antioxidant activity of the fruit juice (evaluated by Ferric Reducing Antioxidant Potential assay) augmented by 19%, 13%, 18,5% and 15,1% respectively, compared with those of the control without ultrasonic treatment. Ultrasonic treatment of ground fruit could be a potential method in the production of *Syzygium cumini* fruit juice with high antioxidant activity.

1. GIỚI THIỆU

Quả trám có tên khoa học là *Syzygium cumini*. Bên cạnh đường và acid là những thành phần dinh dưỡng phổ biến trong các loại quả. Quả trám giàu vitamin C và các hợp chất phenolic như anthocyanin, acid gallic, tannin với hoạt tính kháng oxy hóa cao [1]. Đến nay, quả trám được sử dụng để chế biến ra nhiều loại thực phẩm khác nhau như nước quả, rượu vang và mứt jam [2].

Để chế biến nước quả, nguyên liệu quả trám được nghiền và ép để phá vỡ cấu trúc mô và thành tế bào, từ đó giải phóng các chất dinh dưỡng từ bên trong tế bào vào dịch quả [3]. Những nghiên cứu gần đây cho thấy quả táo và quả dâu tằm sau công đoạn nghiền, nếu được đem xử lý với sóng siêu âm thì cấu trúc mô và thành tế bào quả sẽ tiếp tục bị phân hủy, nhờ đó dịch quả thu được sau công đoạn ép sẽ chứa nhiều chất dinh dưỡng hơn [4] [5]. Tuy nhiên, đến nay vẫn chưa có công bố khoa học trong và ngoài nước về việc sử dụng sóng siêu âm

trong quá trình thu nhận dịch quả trám. Mục đích của nghiên cứu này là xác định các điều kiện tối ưu của quá trình xử lý siêu âm quả trám sau công đoạn nghiền để thu nhận dịch quả trám giàu hoạt tính kháng oxy hóa.

2. NGUYÊN LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên liệu

Quả trám (*Syzygium cumini*) sử dụng trong nghiên cứu này có xuất xứ từ một nhà vườn thuộc huyện Trảng Bàng, tỉnh Tây Ninh. Quả trám sau khi thu hoạch được vận chuyển ngay về phòng thí nghiệm trong cùng một ngày để phân loại, loại bỏ tạp chất và trái kém chất lượng, rửa sạch, làm khô rồi cho vào túi bảo quản ở -18°C trong tủ đông và được sử dụng cho cả quá trình thí nghiệm.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1 Ảnh hưởng của công suất và thời gian siêu âm đến hàm lượng các chất kháng oxy hóa và hoạt tính kháng oxy hóa của dịch quả trám

Quả trám được rửa đông ở nhiệt độ phòng trong

1 giờ rồi đem loại bỏ hạt bằng phương pháp thủ công và nghiền với nước theo tỷ lệ nước/quả là 2,5/1,0 (theo khối lượng). Sau đó, mẫu được cho vào cốc thủy tinh để xử lý siêu âm, sử dụng thanh phát siêu âm của hãng Sonics and Materials, model VC750 (Hoa kỳ). Để khảo sát công suất siêu âm, công suất được thay đổi trong khoảng 0 – 10W/g còn thời gian siêu âm được chọn cố định là 1 phút. Khi khảo sát thời gian siêu âm, thời gian được thay đổi trong khoảng 0 – 2,5 phút còn công suất siêu âm được chọn từ kết quả thí nghiệm trước đó. Trong quá trình xử lý siêu âm, cốc chứa mẫu được đặt trong bể nước lạnh để nhiệt độ của mẫu không vượt quá 30°C. Khi kết thúc xử lý siêu âm, hỗn hợp được lọc qua thiết bị lọc chân không rồi ly tâm với gia tốc $3000 \times g$ trong 10 phút để loại bã thô và bã mịn và thu được dịch quả trám. Dịch thu được sau ly tâm được đem đo thể tích và xác định hàm lượng các chất: vitamin C, anthocyanin, phenolic tổng, hoạt tính kháng oxy hóa theo 2 phương pháp ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) và FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) và chất khô.

2.2.2. Tối ưu hóa công suất và thời gian siêu âm bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm

Thực hiện ma trận quy hoạch thực nghiệm theo mô hình trực giao cấp hai có tâm xoay với tất cả 13 thí nghiệm, trong đó có 5 thí nghiệm tại tâm. Phần mềm Modde 5.0 được sử dụng để xử lý kết quả của các thí nghiệm. Phương trình hồi quy mô tả sự ảnh hưởng của công suất và thời gian xử lý siêu âm đến hoạt tính kháng oxy hóa

của dịch quả trám. Sau đó, thí nghiệm được thực hiện lại tại điều kiện tối ưu để so sánh giá trị thực nghiệm của hoạt tính chống oxy hóa của dịch quả với giá trị lý thuyết được dự đoán từ mô hình.

2.2.3. Phương pháp phân tích

Hàm lượng vitamin C trong mẫu phân tích được xác định bằng bộ kit thử vitamin C Reflectoquant® Ascorbic Acid Test và các phương pháp đo được thực hiện trên thiết bị đo RQflex plus 10, Merck (Đức).

Hàm lượng chất khô của dịch quả được xác định bằng phương pháp sấy mẫu ở 105°C đến trọng lượng không đổi. Phenolic tổng được định lượng bằng phương pháp quang phổ so màu với thuốc thử Folin – Ciocalteu [6]. Hàm lượng anthocyanin được đo bằng phương pháp pH vi sai [7]. Hoạt tính kháng oxy hóa được xác định theo phương pháp ABTS và FRAP [6].

2.2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Mỗi thí nghiệm được lặp lại 3 lần và kết quả là giá trị trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn. Kết quả được xử lý thống kê bằng phần mềm Statgraphics Centurion XV để xác định sự khác nhau giữa chúng là có ý nghĩa hay không.

3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của công suất siêu âm đến hàm lượng các chất kháng oxy hóa và hoạt tính kháng oxy hóa của dịch quả trám

Sự thay đổi hàm lượng vitamin C, phenolic tổng, anthocyanin và hoạt tính kháng oxy hóa của dịch quả trám khi thay đổi công suất siêu âm được trình bày trên Bảng 1.

Bảng 1. Ảnh hưởng của công suất siêu âm đến hàm lượng các chất kháng oxy hóa và hoạt tính kháng oxy hóa của dịch quả trám

Công suất siêu âm (W/g)	Vitamin C (mg/100 g chất khô)	Phenolic tổng (mg GAE/100 g chất khô)	Anthocyanin (mg/100g chất khô)	Hoạt tính kháng oxy hóa theo FRAP ($\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ chất khô)	Hoạt tính kháng oxy hóa theo ABTS ($\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ chất khô)
0	1406,4 ^a $\pm$ 22,3	5253,0 ^a $\pm$ 35,2	647,07 ^a $\pm$ 3,2	64736,9 ^a $\pm$ 1401,9	43545,2 ^a $\pm$ 271,0
2	1489,2 ^b $\pm$ 22,3	5329,6 ^b $\pm$ 32,9	702,88 ^b $\pm$ 6,1	68196,8 ^b $\pm$ 230,5	44838,9 ^{bc} $\pm$ 531,4
4	1561,0 ^c $\pm$ 8,4	5500,9 ^c $\pm$ 19,2	723,60 ^{cd} $\pm$ 5,9	68995,2 ^{bc} $\pm$ 921,9	46066,2 ^c $\pm$ 920,4
6	1595,9 ^d $\pm$ 5,5	5612,1 ^d $\pm$ 35,8	739,59 ^e $\pm$ 0,9	70459,0 ^c $\pm$ 798,4	47600,2 ^d $\pm$ 702,9
8	1496,5 ^b $\pm$ 25,3	5256,7 ^a $\pm$ 27,3	732,81 ^{de} $\pm$ 6,2	61011,0 ^d $\pm$ 1004,6	43611,7 ^{ab} $\pm$ 957,9
10	1382,5 ^a $\pm$ 13,9	5107,2 ^e $\pm$ 3,2	716,24 ^c $\pm$ 5,4	57418,1 ^e $\pm$ 1219,6	41867,3 ^{ab} $\pm$ 510,1

Các kết quả có cùng ký tự a, b, c, d và e trong cùng một cột thì khác nhau không có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$)

Kết quả thực nghiệm cho thấy tất cả các mẫu có qua xử lý siêu âm đều có hàm lượng các chất kháng oxy hóa và hoạt tính kháng oxy hóa cao hơn mẫu đối chứng không qua xử lý siêu âm. Như vậy, phương pháp xử lý siêu âm đã cải thiện đáng kể chất lượng dịch quả trà.

Cụ thể, khi tăng công suất siêu âm từ 0 đến 6 W/g thì hàm lượng vitamin C, phenolic tổng và anthocyanin tăng lần lượt 13,5%, 6,8% và 14,3% so với mẫu đối chứng. Trong quá trình xử lý siêu âm, hiện tượng xâm thực khí xảy ra mạnh mẽ làm phá vỡ mô và thành tế bào quả [3]; nhờ đó, hàm lượng chất chiết trong dịch quả tăng mạnh so với mẫu không qua xử lý siêu âm. Sự gia tăng hàm lượng vitamin C, phenolic tổng và anthocyanin đã làm cho hoạt tính kháng oxy hóa của dịch quả trà cũng tăng theo. Ở cùng một điều kiện xử lý siêu âm thì hoạt tính kháng oxy hóa theo phương pháp FRAP luôn cao hơn so với phương pháp ABTS. Các hợp chất phenolic rất đa dạng và cơ chế kháng oxy hóa của chúng cũng khác nhau [8]. Kết quả trên Bảng 1 cho thấy hàm lượng các chất có cơ chế kháng oxy hóa theo phương pháp FRAP là cao hơn so với các chất

có cơ chế kháng oxy hóa theo phương pháp ABTS.

Khi tiếp tục tăng công suất siêu âm từ 6 đến 10 W/g thì hàm lượng vitamin C, phenolic tổng và anthocyanin trong dịch quả trà bị giảm nhẹ. Xử lý nguyên liệu bằng sóng siêu âm ở công suất cao sinh ra các gốc tự do như gốc hydroxyl; chúng có thể phản ứng với vitamin C và các hợp phenolic trong dịch quả [9]. Đó là nguyên nhân làm cho hàm lượng vitamin C, phenolic tổng và anthocyanin trong dịch quả trà bị giảm đi. Trước đây, Amir và cộng sự (2013) cũng ghi nhận rằng công suất siêu âm tăng cao đã làm giảm hàm lượng anthocyanin và hoạt tính kháng oxy hóa của pu-rê quả mâm xôi [10].

Như vậy, công suất siêu âm 6 W/g sẽ được chọn cho quá trình thu nhận dịch quả trà.

3.2. Ảnh hưởng của thời gian xử lý siêu âm đến hàm lượng các chất chống oxy hóa và hoạt tính kháng oxy hóa của dịch quả trà

Bảng 2 giới thiệu hàm lượng vitamin C, phenolic tổng, anthocyanin và hoạt tính kháng oxy hóa của dịch quả trà theo thời gian xử lý siêu âm.

Bảng 2. Ảnh hưởng của thời gian xử lý siêu âm đến hàm lượng các chất kháng oxy hóa và hoạt tính kháng oxy hóa của dịch quả trà

Thời gian siêu âm (phút)	Vitamin C (mg/100 g chất khô)	Phenolic tổng (mg GAE/100 g chất khô)	Anthocyanin (mg/100g chất khô)	Hoạt tính kháng oxy hóa theo FRAP (μmol TE/100 g chất khô)	Hoạt tính kháng oxy hóa theo ABTS (μmol TE/100 g chất khô)
0,0	1336,2 ^a ± 31,6	5015,7 ^a ± 11,1	742,2 ^a ± 24,1	68701,2 ^a ± 1494,6	44165,1 ^a ± 978,9
0,5	1415,2 ^b ± 5,4	5042,8 ^a ± 38,0	802,9 ^b ± 4,6	70493,3 ^b ± 836,7	46246,6 ^b ± 627,0
1,0	1514,6 ^c ± 2,9	5356,9 ^b ± 16,4	836,8 ^{bc} ± 19,9	74518,2 ^c ± 337,3	48847,0 ^c ± 766,2
1,5	1572,5 ^d ± 3,0	5553,5 ^c ± 13,4	869,6 ^c ± 27,7	77154,6 ^d ± 731,5	52089,0 ^d ± 603,3
2,0	1561,9 ^d ± 6,1	5654,6 ^c ± 71,9	879,0 ^c ± 45,8	78325,9 ^d ± 608,6	52692,3 ^d ± 522,5
2,5	1549,6 ^d ± 13,9	5338,7 ^b ± 82,9	834,9 ^{bc} ± 26,4	78443,1 ^d ± 536,8	52792,9 ^d ± 460,8

Các kết quả có cùng ký tự a, b, c và d trong cùng một cột thì khác nhau không có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$)

Khi tăng thời xử lý siêu âm từ 0 đến 1,5 phút thì hàm lượng vitamin C, phenolic tổng và anthocyanin tăng lần lượt là 17,7%, 10,7% và 17,2% so với mẫu đối chứng không qua xử lý siêu âm. Thời gian xử lý siêu âm càng dài thì hiện tượng xâm thực khí diễn ra càng lâu; do đó mô và tế bào quả bị phá vỡ càng triệt để, các chất từ bên trong tế bào sẽ khuếch tán ra

bên ngoài nhiều hơn để tạo nên dịch quả. Trước đây, Quang và cộng sự (2014) cũng nhận thấy khi tăng thời gian xử lý siêu âm từ 0 lên 6 phút thì hàm lượng phenolic tổng của dịch quả táo cũng tăng 31,2% [4].

Tuy nhiên, nếu tiếp tục tăng thời gian siêu âm từ 1,5 phút lên 2,5 phút thì hàm lượng vitamin C, phenolic tổng, anthocyanin và hoạt tính

kháng oxy hóa của dịch quả mâm xôi thay đổi không có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$). Kết quả tương tự được báo cáo bởi González-Centeno và cộng sự (2015): hoạt tính chống oxy hóa trong dịch trích từ bồ đề (*Vitis vinifera* L.) không thay đổi khi thời gian siêu âm kéo dài từ 50 đến 60 phút [11]. Như vậy, thời gian xử lý siêu âm 1,5 phút được xem là thích hợp để thu nhận dịch quả mâm xôi.

3.3. Tối ưu hóa công suất và thời gian siêu âm bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm

Kết quả phần 3.1 và 3.2 cho thấy dịch quả mâm xôi có hoạt tính kháng oxy hóa cao nhất theo phương pháp FRAP là 77154 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ chất khô nguyên liệu quả khi công suất và thời gian xử lý siêu âm lần lượt là 6 W/g và 1,5

phút. Để quy hoạch thực nghiệm theo mô hình trực giao cấp hai, hai yếu tố khảo sát như sau: X_1 là công suất siêu âm với tâm 0 (tương ứng 6 W/g), mức trên gồm +1 (tương ứng 8 W/g) và +1,41 (tương ứng 8,83 W/g), mức dưới gồm -1 (tương ứng 4 W/g) và -1,41 (tương ứng 3,17 W/g); X_2 là thời gian siêu âm với tâm 0 (tương ứng 1,5 phút), mức trên gồm +1 (tương ứng 2,0 phút) và +1,41 (tương ứng 2,71 phút), mức dưới gồm -1 (tương ứng 1,0 phút), -1,41 (tương ứng 0,79 phút); hàm mục tiêu là hoạt tính chống oxy hóa Y theo phương pháp FRAP ($\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ chất khô nguyên liệu quả).

Ma trận quy hoạch thực nghiệm và kết quả thí nghiệm được thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3. Ma trận quy hoạch thực nghiệm và kết quả hoạt tính kháng oxy hóa của dịch quả mâm xôi theo phương pháp FRAP

Số thứ tự thí nghiệm	X_1 – Công suất siêu âm (W/g)	X_2 – Thời gian siêu âm(phút)	Y – Hoạt tính kháng oxy hóa ($\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ chất khô)
1	-1	-1	57382,1
2	1	-1	61202,8
3	-1	1	45875,9
4	1	1	80999,3
5	-1,414	0	38100,3
6	1,414	0	69041,0
7	0	-1,414	63526,9
8	0	1,414	66901,0
9	0	0	76800,3
10	0	0	76800,3
11	0	0	77151,5
12	0	0	77151,5
13	0	0	77151,5

Kết quả xử lý số liệu thực nghiệm trên phần mềm Modde 5.0 được trình bày ở bảng 4

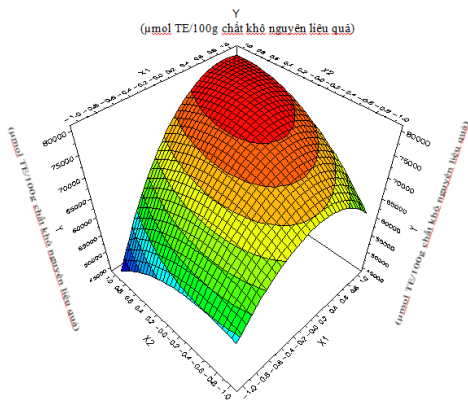
Bảng 4. Ảnh hưởng của các biến độc lập đến hoạt tính kháng oxy hóa (phương pháp FRAP) của dịch quả mâm xôi

Y	Coeff. SC	Std. Err	P	Conf. int(±)
Constant	77010,8	595,708	4,371e-013	1408,64
X_1	10338,3	470,984	1,02843e-007	1113,71
X_2	1632,92	470,984	0,0104477	1113,71
$X_1 * X_1$	-11229	505,145	9,42549e-008	1194,49
$X_2 * X_2$	-5405,54	505,145	1,36646e-005	1194,49
$X_1 * X_2$	7825,66	666,022	7,32298e-006	1574,91
N = 13				
DF = 7				
$Q^2 = 0,959$				
$R^2 = 0,994$				
$R^2 \text{ Adj.} = 0,990$				
Cond. no. = 2,8971				
Y-miss = 0				
RSD = 1332,0430				
Conf. lev. = 0,95				

Ta thu được phương trình hồi quy theo biến ảo như sau:

$$Y = 77010,8 + 10338,3X_1 + 1632,92X_2 - 11229X_1^2 - 5405,54X_2^2 + 7825,66X_1X_2$$

Kết quả trên Bảng 4 cho thấy những yếu tố bậc một như công suất siêu âm X_1 và thời gian xử lý siêu âm X_2 có ảnh hưởng dương đến hàm mục tiêu hoạt tính kháng oxy hóa của dịch quả trà Y ($p < 0.05$). Tuy nhiên, những yếu tố bậc hai như công suất siêu âm X_1^2 và thời gian xử lý siêu âm X_2^2 có ảnh hưởng âm đến hàm mục tiêu Y ($p < 0,05$). Sự ảnh hưởng của công suất siêu âm đến hoạt tính kháng oxy hóa của dịch quả trà là lớn hơn sự ảnh hưởng của thời gian siêu âm vì các hệ số của X_1 và X_1^2 đều cao hơn so với hệ số của X_2 và X_2^2 . Ngoài ra, sự tương tác của yếu tố công suất và thời gian siêu âm ($X_1 \times X_2$) cũng được khẳng định và sự tương tác này có ảnh hưởng dương đến hàm mục tiêu Y ($p < 0,05$). Giá trị $Q^2 = 0,959$ (độ biến thiên ảo) và $R^2 = 0,994$ (độ biến thiên thực) là rất cao; điều đó khẳng định mô hình thu được là đáng tin cậy [12]. Đồ thị biểu diễn sự ảnh hưởng đồng thời của công suất và thời gian xử lý siêu âm đến hoạt tính kháng oxy hóa của dịch quả trà được trình bày trên hình 1.



Hình 1. Ảnh hưởng của công suất (X_1) và thời gian xử lý siêu âm (X_2) đến hoạt tính kháng oxy hóa của dịch quả trà theo phương pháp FRAP
 Từ phương trình hồi quy, chương trình Modde 5.0 cho ra điểm Y cực đại tại $X_1 = 0,33$ (ứng với công suất siêu âm là 6,6 W/g thịt quả) và $X_2 = -0,01$ (ứng với thời gian xử lý siêu âm là 1,5 phút). Khi đó, hoạt tính kháng oxy hóa cực đại theo phương pháp FRAP của mô hình là 79157 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ chất khô nguyên liệu quả và giá trị này tăng 15,2% so với mẫu đối chứng

không qua xử lý siêu âm. Tiến hành thí nghiệm kiểm chứng ở giá trị công suất và thời gian xử lý siêu âm tối ưu; giá trị hoạt tính kháng oxy hóa trung bình thu được của ba thí nghiệm lặp lại là 79061 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ chất khô nguyên liệu quả và giá trị này tăng 15,1% so với mẫu đối chứng. Độ chênh lệch giữa giá trị thực nghiệm và giá trị của mô hình là 0,12% và được xem là chấp nhận được.

Khi so sánh hoạt tính kháng oxy hóa (phương pháp FRAP) của dịch quả trà thu được trong phần 3.1 và 3.2 (77154 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ chất khô nguyên liệu quả) với phần 3.3 (79061 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ chất khô nguyên liệu quả) thì sự chênh lệch là khá ít. Nguyên nhân là do điều kiện xử lý siêu âm sau khi tối ưu hóa bằng quy hoạch thực nghiệm (công suất 6,6 W/g, thời gian 1,5 phút) không khác biệt nhiều so với trước khi tối ưu hóa (công suất 6,0 W/g, thời gian 1,5 phút)

4. KẾT LUẬN

Xử lý quả trà nghiền bằng sóng siêu âm làm cải thiện đáng kể hoạt tính kháng oxy hóa của dịch quả trà. Điều kiện xử lý siêu âm tối ưu bao gồm công suất siêu âm 6,6 W/g và thời gian siêu âm 1,5 phút. Khi đó, hoạt tính kháng oxy hóa (phương pháp FRAP) cao hơn 15,1% so với mẫu đối chứng không xử lý siêu âm; hàm lượng vitamin C, phenolic tổng và anthocyanin tăng lần lượt là 19%, 13% và 18,5% so với mẫu đối chứng không qua xử lý siêu âm. Quá trình xử lý quả trà với sóng siêu âm ở quy mô pilot cần được tiếp tục thử nghiệm để làm cơ sở triển khai ứng dụng phương pháp này vào thực tiễn trong quá trình thu nhận dịch quả trà.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] B. Archana, D. Nabasree và D. Bratati, "In vitro study of antioxidant activity of Syzygium cumini fruit," *Food Chemistry*, số 90, pp. 727-733, 2005.
- [2] T. K. Koley, K. Barman và R. Asrey, "Nutraceutical Properties of Jamun (Syzygium

cumini L.) and its Processed,” *Indian Food Industry*, tập 3, số 30, pp. 43-46, 2011.

[3] T. J. Mason, L. Oaniwnyk và J. P. Lorimer, “The uses of ultrasound in food technology,” *Ultrasonics Sonochemistry*, số 3, pp. 253-260, 1996.

[4] P. S. Quang, T. T. T. Le và V. V. M. Le, “Optimization of ultrasound treatment of apple (*Malus domestica*) mash in the extraction of juice with high antioxidant level,” *Journal of Engineering*, số 12, pp. 18-21, 2014.

[5] T. N. T. Nguyen, L. H. N. Phan và V. V. M. Le, “Enzyme-assisted and ultrasound-assisted extraction of phenolics from mulberry (*Morus alba*) fruit: comparison of kinetic parameters and antioxidant level,” *International Food Research Journal*, số 21, pp. 1937-1940, 2014.

[6] P.C. Wootton-Beard et al., “Stability of the total antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin–Ciocalteu methods,” *Food Research International*, tập 44, pp. 217-224, 2011.

[7] C. A. Palayyan Saraswathy Benherlal, “Chemical composition and in vitro

antioxydant studies on *Syzygium cumini* fruit,” *Journal of the Science of Food and Agriculture*, tập 87, pp. 2560-2569, 2007.

[8] L. T. N. Hà và V. T. Thù, “Stress oxi hóa và các chất chống oxi hóa tự nhiên,” *Tạp chí Khoa học và Phát triển*, tập 7, số 5, pp. 667-677, 2009.

[9] T. Mason và J. P. and Lorimer, *Applied sonochemistry*, Weinheim: Wiley-VCH, 2002.

[10] G. Amir, M. Gregogy, P. Joseph và N. Caleb, “Effect of ultrasound frequency on antioxidant activity, total phenolic and anthocyanin content of red raspberry puree,” *Ultrasonics Sonochemistry*, số 20, pp. 1316-1323, 2013.

[11] M. González-Centeno, F. Comas-Serra, A. Femenia, C. Rosselló và S. Simal, “Effect of power ultrasound application on aqueous extraction of phenolic compounds and antioxidant capacity from grape pomace,” *Ultrasonics Sonochemistry*, số 22, pp. 506-514, 2015.

[12] Y. H. Chu, I. S. Han và C. & Han, “Improved Evolutionary Operation Based on D-optimal Design and Response Surface Method,” *Korean J. Chem.*, số 19, pp. 535-544, 2002.