

ẢNH HƯỞNG CỦA SÓNG SIÊU ÂM ĐẾN HÀM LƯỢNG PHENOLIC CỦA DỊCH TRÍCH RAU NGÔ (*Enhydra fluctuans* L.)

EFFECT OF ULTRASOUND ON THE PHENOLIC CONTENT OF *Enhydra fluctuans* L. EXTRACT

Nguyễn Minh Trọng, Phạm Trần Thu Phạm,
Quách Văn Cao Thi, Nguyễn Trung Trục*
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long
Email: trucnt@vlute.edu.vn

Nhận bài (Received): 27/9/2024; Phản biện (Reviewed): 14/10/2024; Chấp nhận (Accepted): 25/10/2024

TÓM TẮT

Rau ngô (*Enhydra fluctuans* L.) là nguồn thực vật có hàm lượng phenolic cao do đó nó được sử dụng trong thực phẩm như một thành phần kháng khuẩn và nấm tự nhiên. Tuy nhiên, việc nghiên cứu về điều kiện phù hợp cho quá trình trích ly phenolic trong rau ngô còn hạn chế. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của tần số sóng siêu âm (UAE) ở các tần số (58, 132 và 192 kHz); thời gian xử lý siêu âm (10, 20, 30 và 40 phút) và dung môi như nước, ethanol 45% và ethanol 96% (v/v) đến hàm lượng phenolic của rau ngô. Kết quả nghiên cứu cho thấy hàm lượng phenolic thu được hiệu quả khi xử lý UAE ở tần số 58 kHz, thời gian xử lý sóng là 20 phút trong dung môi trích ly là ethanol 45% ($18,23 \pm 2,28$ mg GAE/g). Kết quả này gợi ý rằng có thể sử dụng UAE và ethanol 45% cho trích ly phenolic từ rau ngô.

Từ khóa: Rau ngô, phenolic, sóng siêu âm, ethanol

ABSTRACT

Enhydra fluctuans L. is a plant source having rich in phenolic compounds. Therefore, it was used as a natural antibacterial and antifungal ingredient in food. However, previous studies showed that the optimal phenolic crude extraction conditions of *Enhydra fluctuans* L. has not been examined. This study aimed to evaluate the effects of ultrasound frequency (58, 132, and 192 kHz), ultrasound treatment time (10, 20, 30, and 40 minutes), and solvents such as water, 45% ethanol, and 96% ethanol on the phenolic content of *Enhydra fluctuans* L. The results showed that the phenolic content was effectively obtained when UAE was treated at a frequency of 58 kHz, the wave treatment time was 20 minutes in 45% ethanol extraction solvent (18.23 ± 2.28 mg GAE/g). These findings suggest that ultrasound and 45% ethanol can be effective for extracting phenolics from *Enhydra fluctuans* L.

Keywords: *Enhydra fluctuans* L., phenolic, ultrasound, ethanol

1. GIỚI THIỆU

Phenolic là hợp chất có một hoặc nhiều vòng thơm với một hoặc nhiều nhóm hydroxyl. Chúng có mặt rộng rãi trong giới thực vật với hơn 8.000 cấu trúc phenolic hiện được biết đến, từ các phân tử đơn giản như acid phenolic đến các chất cao phân tử như tanin [1]. Các hợp chất phenolic là chất điều hòa sinh trưởng nội sinh của thực vật, cấu trúc phân tử của chúng cho phép tạo phức với các ion kim loại, ngăn ngừa sự hình thành các gốc tự do do stress gây ra và tăng cường hoạt động chống oxy hóa [2, 3]. Ngoài ra, chúng tham gia như chất cấu trúc, chất hấp dẫn, truyền tín hiệu và bảo vệ cho thực vật [4]. Phenolic cũng là thành phần phổ biến của thực phẩm có nguồn gốc từ thực vật như: trái cây, rau, ngũ cốc, ô liu, đậu,... và các loại đồ uống như: trà, cà

phê, bia, rượu vang,... Ngoài ra, các hợp chất phenolic gần đây đã được nghiên cứu rộng rãi do các tác dụng sinh học của chúng, có thể kể đến như kháng viêm, kháng khuẩn, hoạt động chống ung thư, bệnh đái tháo đường, bệnh Parkinson, bệnh Alzheimer và bảo vệ tim [5-7]. Do đó, việc nghiên cứu trích ly các hợp chất phenolic từ thực vật và sử dụng chúng làm chất phụ gia thực phẩm có nguồn gốc tự nhiên đang được quan tâm.

Có nhiều phương pháp chiết xuất và dung môi khác nhau có thể được sử dụng để chiết xuất các hợp chất phenolic từ thực vật. Các đặc tính của dung môi sẽ ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả chiết xuất. Loại và sản lượng hợp chất phenolic được chiết xuất thay đổi tùy thuộc vào độ phân cực của dung môi, áp suất hơi và độ nhớt [8]. Do đó, việc lựa chọn dung môi tốt nhất để chiết xuất các hợp chất phenolic từ vật liệu thực vật là rất quan trọng để tăng hiệu quả chiết xuất [9]. Trong nhiều thập kỷ qua, các hợp chất phenolic thực vật được chiết xuất chủ yếu bằng các biện pháp thông thường như: chưng cất, ngâm, soxhlet,... [10]. Trong đó, chiết xuất bằng phương pháp soxhlet và ngâm là hai phương pháp phổ biến nhất. Tuy nhiên, hai phương pháp này thường sử dụng lượng lớn dung môi và thời gian chiết kéo dài (có thể từ 360-720 phút) mới trích hết các thành phần thực vật trong mô hình. Đồng thời, có thể thấy phương pháp soxhlet sử dụng nhiệt độ cao để trích nên hoạt tính sinh học của các hợp chất phenolic có thể giảm do sự phân hủy nhiệt [11]. Với phương pháp ngâm, thời gian trích ly dài và hiệu quả trích thấp. Do đó, hai phương pháp này chủ yếu được sử dụng để so sánh hiệu quả với các phương pháp thay thế có thể khắc phục những hạn chế trên như chiết xuất hỗ trợ vi sóng, chiết xuất chất lỏng áp suất cao, chiết xuất chất lỏng siêu tới hạn và chiết xuất hỗ trợ sóng siêu âm (UAE) [12]. Trong đó, UAE là một kỹ thuật được nghiên cứu nhiều nhất để trích ly các hợp chất phenolic do hiệu suất cao, thời gian chiết ngắn và sử dụng nhiệt độ môi trường. Trong phương pháp này, hiện tượng sủi bọt gây ra một loạt các lực nén và độ loãng trong môi trường lỏng gây ra những thay đổi về áp suất và sự hình thành, sụp đổ của các bong bóng khí, làm tăng cường tốc độ truyền khối và khả năng thẩm thấu của dung môi [13]. Từ đó, UAE mang lại năng suất chiết cao hơn, tốc độ chiết nhanh hơn và sử dụng một lượng dung môi nhỏ hơn [14]. Thông thường, tần số và thời gian xử lý UAE là hai yếu tố ảnh hưởng đến hàm lượng phenolic của dịch trích thực vật. Trong đó, tần số UAE dao động từ 20 đến 1000 kHz [15]. Thời gian xử lý UAE truyền thống được ứng dụng là 30 phút [16], tuy nhiên trong một số nghiên cứu trên lá việt quất cho thấy xử lý UAE từ 5 đến 20 phút thu được hàm lượng phenolic trong dịch trích ở mức ổn định [17]. Ngoài ra, nghiên cứu sử dụng trích ly các hợp chất phenolic trên thực vật ứng dụng UAE cũng được thực hiện trên nhiều đối tượng và cho kết quả tốt so với các phương pháp thông thường. Các nghiên cứu sử dụng UAE trong trích ly hợp chất phenolic đã được thực hiện trên cây dương hòe (*Robinia pseudoacacia*) [18], rơm rạ [15] và mầm đậu nành [19], cho thấy có hiệu quả cao hơn khi so sánh với phương pháp ngâm và soxhlet.

Rau ngổ (*Enhydra fluctuans Lour.*), là cây thân thảo họ cúc, có lá hình răng cưa và thường được tìm thấy ở các khu vực ngập nước [20]. Theo Alfasane *et al.*, (2018) [21], rau ngổ cung cấp 317,28 kcal/100g năng lượng, 14,00% tro, 18,20% protein, 1,14% chất béo, 11,50% chất xơ và 56,60% carbohydrate. Ngoài ra, flavonoid, alkaloid, saponin và phenolic là một số thành phần được tìm thấy trong loại cây này [22]. Bên cạnh việc sử dụng như thực phẩm, cây này được xem là một nguồn dược liệu vì khả năng chống viêm, giảm đau, bảo vệ gan và hạ huyết áp [23]. Do đó, rau ngổ được xem là một loài thực vật có giá trị trong việc ứng dụng vào thực phẩm.

Hiện nay, các dung môi được áp dụng phổ biến nhất để trích ly hợp chất phenolic từ thực vật có thể kể đến như: nước, acetone, ethanol, methanol, etyl axetat và chloroform. Trong nghiên cứu của Alam *et al.*, (2019) [24] cho thấy methanol có hiệu quả trong trích ly phenolic trên rau

má, rau thài lài và rau ngổ. Ngoài ra, Lopa *et al.*, (2021) [25] cho thấy chloroform có hiệu quả hơn trong trích ly phenolic từ rau ngổ hơn so với ete dầu hỏa, etyl axetat và nước. Tuy nhiên, so với methanol và chloroform thì ethanol là lựa chọn tốt hơn vì độ an toàn khi ứng dụng trong thực phẩm và hiệu quả trong hòa tan các hợp chất phenolic từ thực vật.

Tuy nhiên, hiện nay chưa có nghiên cứu nào thực đánh giá hiệu quả của UAE trong chiết xuất phenolic trên rau ngổ. Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá ảnh hưởng của tần số UAE, thời gian xử lý UAE và dung môi trích ly đến hàm lượng phenolic của rau ngổ. Từ đó, xác định được điều kiện trích ly phenolic tối ưu cho rau ngổ để ứng dụng vào các sản phẩm thực phẩm.

2. PHƯƠNG TIỆN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng

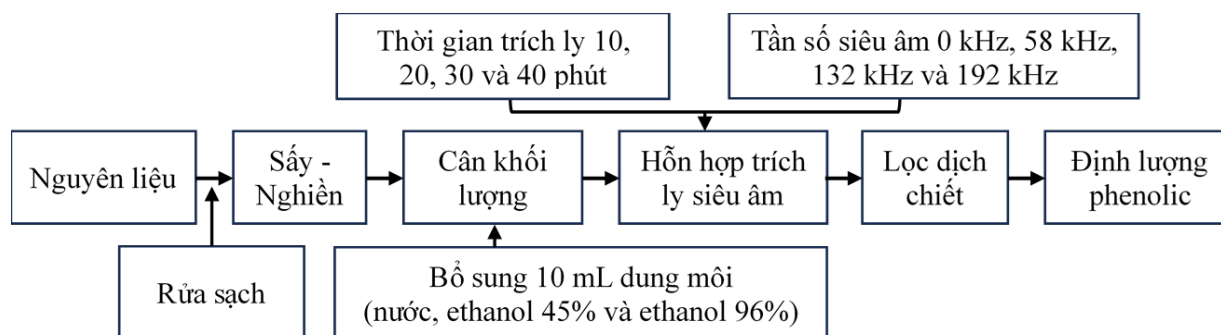
Rau ngổ được thu hái sau khoảng 45 ngày trồng khi trong vườn có một vài ngọn rau cho hoa. Giống được trồng là các đoạn thân cây hái từ rau ngổ hoang dại. Khu vực trồng là vườn ngập nước theo chế độ thủy triều của sông ở huyện Trà Ôn, tỉnh Vĩnh Long vào tháng 7 năm 2024. Nguyên liệu được lựa chọn gồm: phần thân và lá (phần nổi trên mặt đất) có chiều dài từ 20-30 cm. Mẫu được làm sạch và sấy ở 50°C cho đến khi khối lượng không đổi (độ ẩm $11,43 \pm 0,58\%$), tiếp đến mẫu được xay nhuyễn và sàng qua rây lọc (đường kính lỗ 0,2 cm), sau đó lấy phần qua rây, đóng gói chân không, bảo quản ở tủ âm sâu trong bao bì tối màu để trữ mẫu và dùng cho thí nghiệm.

2.2. Hóa chất

Nghiên cứu sử dụng các hóa chất ethanol (Việt Nam), methanol (Trung Quốc), acid gallic (Trung Quốc), sodium carbonate (Trung Quốc), sodium hydroxide (Trung Quốc), và thuốc thử Foline-Ciocalteu's (Đức).

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp bố trí thí nghiệm: Cân 0,5 g ($\pm 0,01$) bột rau ngổ và cho vào ống nghiệm (20 mL), tiếp đến bổ sung 10 mL dung môi (nước cất, ethanol 45% và ethanol 96%). Sau đó, các ống nghiệm được đưa vào hệ thống bể rửa (600 x 380 x 350 mm) có kết nối trực tiếp với bộ phát nguồn phát UAE (IDS 2415/SM; Crest Ultrasonic) và hệ thống nước lạnh 20°C tuần hoàn liên tục nhằm giữ cho nhiệt độ của hệ thống ổn định ở 30°C trong quá trình xử lý. Nguồn phát UAE được điều chỉnh ở tần số lần lượt là 0 kHz, 58 kHz, 132 kHz, 192 kHz, thời gian xử lý ở mỗi tần số lần lượt là 10, 20, 30 và 40 phút (Hình 1). Sau khi quá trình kết thúc, dịch chiết được lọc thô bằng vải lượt 4 lớp và lọc tinh bằng giấy lọc định tính để thu hồi dịch chiết phenolic ở nhiệt độ phòng. Dịch trích sau đó được pha loãng 10 lần và tiến hành phân tích hàm lượng phenolic. Thí nghiệm được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên với 3 lần lặp lại.



Hình 1: Quy trình trích ly phenolic từ bột rau ngổ sử dụng UAE

Xác định hàm lượng polyphenol: Hàm lượng phenolic được xác định bằng thuốc thử Folin–Ciocalteu theo phương pháp của Singleton *et al.* (1999) [26] có hiệu chỉnh. Hỗn hợp phản ứng gồm 50 μL dung dịch chiết (sử dụng dung môi cho mẫu blank), 250 μL thuốc thử Folin–Ciocalteu, 750 μL sodium carbonate 7,5% và 2 mL nước cất. Sau đó, hỗn hợp phản ứng được trộn đều và ủ 30 phút ở nhiệt độ 40°C trong bể điều nhiệt. Độ hấp thụ của mẫu được đo ở bước sóng 750 nm bằng máy quang phổ (BioSpectrometer Basic, Đức). Hàm lượng phenolic được xác định dựa vào đường chuẩn của acid gallic tương đương trong cùng điều kiện.

Phương pháp xử lý thống kê: Tất cả các kết quả nghiệm thức được phân tích bằng phần mềm Statgraphics Centurion (Phiên bản 19-X64). Phương pháp phân tích phương sai (ANOVA) với kiểm định LSD được sử dụng để xác định sự khác biệt ý nghĩa ($p < 0,05$) giữa các trung bình.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Hàm lượng phenolic ở rau ngổ trong nghiên cứu này có sự khác biệt giữa các loại dung môi và từng tần số xử lý. Trong điều kiện xử lý dung môi là nước (Bảng 1), hàm lượng phenolic thu được cao nhất khi xử lý ở tần số 58 kHz, thời gian 40 phút ($12,22 \pm 2,62$ mg GAE/g) và thấp nhất ở nghiệm thức không xử lý UAE, ngâm trong thời gian 10 phút ($3,86 \pm 1,42$ mg GAE/g). Kết quả còn cho thấy, thời gian xử lý UAE không cho thấy sự ảnh hưởng đến hàm lượng phenolic thu được giữa các mẫu ở cùng tần số xử lý ở mức ý nghĩa $p < 0,05$. Tương tự, kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Bamba *et al.* (2018) [27] khảo sát trên dịch bã việt quốc trong dung môi nước cũng cho thấy hàm lượng phenolic ở tần số 35 kHz dao động ở mức $5,84 \pm 0,03$ đến $6,31 \pm 0,15$ mg GAE/g. Ngoài ra, cũng có thể tìm thấy điểm tương đồng này ở nghiên cứu trên rau diếp và bí ngòi của Lafarga *et al.* (2019) [28], rau ngổ của Lopa *et al.*, (2021) [25] và trên rau ngổ ôm của Do *et al.*, (2014) [29].

Bảng 1: Hàm lượng phenolic của rau ngổ (mg GAE/g) thu được khi trích ly trong dung môi nước

Thời gian xử lý UAE (phút)	Tần số UAE (kHz)			
	0	58	132	192
10	$3,86 \pm 1,42^{bA}$	$9,16 \pm 0,26^{aA}$	$10,48 \pm 1,12^{aA}$	$5,82 \pm 2,70^{bA}$
20	$4,66 \pm 0,55^{bA}$	$11,28 \pm 1,45^{aA}$	$9,73 \pm 4,10^{aA}$	$5,59 \pm 0,42^{bA}$
30	$4,11 \pm 0,25^{bA}$	$10,22 \pm 1,46^{aA}$	$7,47 \pm 3,24^{aA}$	$5,99 \pm 2,01^{bA}$
40	$4,49 \pm 0,94^{bA}$	$12,22 \pm 2,62^{aA}$	$10,54 \pm 2,60^{aA}$	$5,67 \pm 2,21^{bA}$

(Ghi chú: Số liệu trong bảng là giá trị trung bình của 3 lần lặp lại. Các giá trị trong cùng một cột có các chỉ số chữ cái trên khác nhau thì khác biệt đáng kể ($p < 0,05$). Trong đó: các chữ cái in thường biểu thị cho tần số, các chữ cái in hoa biểu thị cho thời gian)

Giá trị tối thiểu và tối đa của hàm lượng phenolic thu được với ethanol 45% lần lượt là $11,23 \pm 0,81$ mg GAE/g và $18,26 \pm 1,49$ mg GAE/g (Bảng 2). Nhìn chung, hàm lượng phenolic cao nhất thu được ở các mẫu xử lý tần số 58 kHz và 132 kHz, ở mức ý nghĩa $p < 0,05$ thì hàm lượng phenolic của hai mẫu này không có sự khác biệt mang ý nghĩa thống kê. Trong khi đó, ở các mẫu đối chứng không xử lý UAE và mẫu xử lý tần số 192 kHz mang kết quả thấp hơn so với hai tần số UAE còn lại. Tương tự, ở các mức thời gian khác nhau của quá trình xử lý siêu âm, hàm lượng phenolic giữa các mẫu trong cùng một tần số xử lý UAE là không có sự khác biệt ($p < 0,05$). Một nghiên cứu khác của Lapornik *et al.* [30] đã cho thấy hàm lượng phenolic trong bã của nho đỏ và nho đen giảm khi trích ly trong nước với thời gian trích ly kéo dài từ 1 giờ đến 24

giờ. Điều này chỉ ra rằng thời gian chiết xuất trong nước quá lâu có thể gây ra sự phân hủy một số hợp chất mục tiêu dẫn đến giảm hàm lượng. Nhìn chung, nồng độ ethanol ảnh hưởng trực tiếp đến độ phân cực của dung môi, trong khi sự hấp thụ siêu âm phụ thuộc vào hằng số điện môi của dung môi và tăng theo hàm lượng nước trong ethanol [31].

Bảng 2: Hàm lượng phenolic của rau ngổ (mg GAE/g) thu được khi trích ly trong dung môi ethanol 45%

Thời gian xử lý UAE (phút)	Tần số (kHz)			
	0	58	132	192
10	12,16 ± 0,97 ^{bA}	16,11 ± 3,15 ^{aA}	17,37 ± 1,04 ^{aA}	13,56 ± 0,47 ^{bA}
20	12,26 ± 0,85 ^{bA}	18,23 ± 2,28 ^{aA}	17,94 ± 1,82 ^{aA}	13,80 ± 1,40 ^{bA}
30	11,23 ± 0,81 ^{bA}	17,49 ± 0,97 ^{aA}	18,26 ± 1,49 ^{aA}	13,08 ± 1,29 ^{bA}
40	11,67 ± 1,20 ^{bA}	15,97 ± 1,54 ^{aA}	17,83 ± 2,34 ^{aA}	12,42 ± 0,91 ^{bA}

(Ghi chú: Số liệu trong bảng là giá trị trung bình của 3 lần lặp lại. Các giá trị trong cùng một cột có các chỉ số chữ cái trên khác nhau thì khác biệt đáng kể ($p < 0,05$). Trong đó: các chữ cái in thường biểu thị cho tần số, các chữ cái in hoa biểu thị cho thời gian)

Các nghiên cứu trích ly khác được thực hiện bằng ethanol cũng cho thấy hàm lượng phenolic của dịch trích thực vật thu được cao hơn khi sử dụng dung môi ethanol và nước ở tỉ lệ 50%-50% [32]. Kết quả này cũng cho thấy, việc thêm nước vào dung môi hữu cơ như ethanol đã góp phần tạo ra môi trường phân cực vừa phải giúp cải thiện hiệu quả chiết xuất, điều này có thể được giải thích bằng mức độ hòa tan của đường, protein và các thành phần khác ở trong nước nhiều hơn trong ethanol [33]. Tương tự, có thể thấy kết quả này ở các nghiên cứu trên rau ngò om [29] và rau cần tây [34]. Ngoài ra, một nghiên cứu khác trên rau ngổ của Lopa *et al.* (2021) [25] cho thấy xử lý dung môi chloroform thu được hàm lượng phenolic cao nhất ($14,06 \pm 1,01$ mg GAE/g). Kết quả này cho thấy việc sử dụng ethanol 45% cho kết quả tốt hơn ($18,26 \pm 1,49$ mg GAE/g) và an toàn hơn cho môi trường và hiệu quả trong ứng dụng thực phẩm.

Đối với mẫu được xử lý bằng dung môi ethanol 96%, hàm lượng phenolic có sự khác biệt không đáng kể giữa các mẫu ở các điều kiện xử lý khác nhau (Bảng 3). Hàm lượng phenolic mẫu tăng từ $2,64 \pm 1,33$ mg GAE/g đến $8,90 \pm 0,85$ mg GAE/g. Trong đó, hàm lượng phenolic cao nhất được tìm thấy ở mẫu xử lý ở tần số UAE là 132 kHz. Kết quả này cho thấy độ hòa tan phenolic thực vật bị chi phối bởi độ phân cực của dung môi cũng như bản chất hóa học của mẫu [1, 8]. Điều này có thể được giải thích bởi ái lực liên kết của dung môi. Việc sử dụng dung môi ở nồng độ quá cao 96% cũng như nước nguyên chất để trích phenolic không mang lại hiệu quả trên rau ngổ ở thí nghiệm này, kết quả này cũng được tìm thấy trong nghiên cứu của Cujic *et al.* (2016) [35]. Cụ thể, ethanol làm giảm hằng số điện môi của dung môi nước, do đó làm tăng sự khuếch tán của các phân tử như polyphenol trong dung môi, nhưng nồng độ ethanol quá cao có thể làm mất nước các tế bào thực vật, điều này có thể cản trở sự khuếch tán của polyphenol từ vật liệu thực vật vào dung môi [36].

Bảng 3: Hàm lượng phenolic của rau ngổ (mg GAE/g) thu được khi trích ly trong dung môi ethanol 96%

Thời gian xử lý UAE (phút)	Tần số UAE (kHz)			
	0	58	132	192
10	2,79 ± 0,32 ^{cA}	6,64 ± 2,06 ^{bA}	8,73 ± 0,23 ^{aA}	6,62 ± 1,33 ^{bA}
20	2,64 ± 0,03 ^{cA}	6,87 ± 2,80 ^{bA}	8,39 ± 0,45 ^{aA}	7,05 ± 0,57 ^{bA}

30	3,02 ± 0,12 ^{cA}	6,96 ± 3,99 ^{bA}	8,90 ± 0,85 ^{aA}	7,15 ± 0,44 ^{bA}
40	2,98 ± 0,22 ^{cA}	7,27 ± 3,70 ^{bA}	8,62 ± 1,01 ^{aA}	7,22 ± 0,36 ^{bA}

(Ghi chú: Số liệu trong bảng là giá trị trung bình của 3 lần lặp lại. Các giá trị trong cùng một cột có các chỉ số chữ cái trên khác nhau thì khác biệt đáng kể ($p < 0,05$). Trong đó: các chữ cái in thường biểu thị cho tần số, các chữ cái in hoa biểu thị cho thời gian)

Nhìn chung, hai yếu tố tần số siêu âm và thời gian xử lý của mẫu có ảnh hưởng đến quá trình chiết xuất phenolic. Trong khi đó, thời gian xử lý siêu âm trong nghiên cứu này có vẻ không ảnh hưởng đến hàm lượng phenolic của các mẫu ở các nồng độ dung môi khác nhau trong một tần số xử lý cố định. Nhìn chung, hàm lượng phenolic thu được ở các mẫu xử lý bằng dung môi ethanol 45% có xu hướng cao hơn các mẫu xử lý với nước và ethanol 96%. Đồng thời, trong cùng một dung môi xử lý, tần số UAE ở 58 kHz và 132 kHz cũng cho thấy hiệu quả hơn trong việc trích ly các hợp chất phenolic trên rau ngô. Tần số 192 kHz thì ngược lại, điều này có thể được giải thích do siêu âm tần số cao tạo ra lượng lớn gốc tự do làm phân hủy phenol và làm giảm hoạt tính chống oxy hóa của mẫu [37, 38]. Điều này được cho là do sự hình thành các bong bóng không ổn định, dẫn đến hiện tượng tạo lỗ rỗng tạm thời. Các bong bóng không ổn định này vỡ ra và tạo ra các nguyên tử hydro (H) và các gốc tự do trong dung dịch, có khả năng làm trung gian cho quá trình phân hủy dung môi và chất tan, trùng hợp và phân hủy polyphenol [13, 37]. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Stojanovi và Sliva (2014) [39] trên quả mọng.

Do đó, việc kết hợp xử lý UAE và dung môi phân cực vừa phải như ethanol 45% là một trong những điều kiện mang lại hiệu quả trong chiết xuất và duy trì hợp chất phenolic của rau ngô.

5. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

Kết quả của nghiên cứu này cho thấy tần số UAE và nồng độ dung môi có ảnh hưởng đến hiệu quả trích ly phenolic của rau ngô. Trong đó nghiệm thức xử lý UAE ở tần số 132 kHz, thời gian xử lý UAE là 30 phút trong dung môi trích ly là ethanol 45% cho kết quả hàm lượng phenolic cao nhất ($18,26 \pm 1,49$ mg GAE/g). Tuy nhiên, xét về hiệu suất kinh tế, mẫu xử lý UAE ở tần số 58 kHz trong 20 phút ở cùng loại dung môi ethanol 45% là lựa chọn phù hợp hơn ở mức ý nghĩa $p < 0,05$ ($18,23 \pm 2,28$ mg GAE/g). Ngoài ra, thời gian xử lý UAE không có ảnh hưởng đến hàm lượng phenolic của rau ngô.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Dai and R. J. Mumper, "Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties," *Molecules*, vol. 15, no. 10, pp. 7313-7352, 2010.
- [2] Y. Y. Sim, W. T. J. Ong, and K. L. Nyam, "Effect of various solvents on the pulsed ultrasonic assisted extraction of phenolic compounds from *Hibiscus cannabinus* L. leaves," *Industrial Crops and Products*, vol. 140, p. 111708, 2019.
- [3] D. M. Pereira, P. Valentão, J. A. Pereira, and P. B. Andrade, "Phenolics: From chemistry to biology," vol. 14, ed: Molecular Diversity Preservation International, 2009, pp. 2202-2211.
- [4] W. A. Peer and A. S. Murphy, "Flavonoids and auxin transport: modulators or regulators?," *Trends in plant science*, vol. 12, no. 12, pp. 556-563, 2007.
- [5] P. Cosme, A. B. Rodríguez, J. Espino, and M. Garrido, "Plant phenolics: Bioavailability as a key determinant of their potential health-promoting applications," *Antioxidants*, vol. 9, no. 12, p. 1263, 2020.
- [6] J. Liu, F. Ji, F. Chen, W. Guo, and M. Yang, "Determination of garlic phenolic compounds using supercritical fluid extraction coupled to supercritical fluid chromatography/tandem

- mass spectrometry*," Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, vol. 159, pp. 513-523, 2018.
- [7] M. Ullah, Z. Uddin, Y. Song, Z. Li, J. Kim, Y. Ban, and K. Park, "Bacterial neuraminidase inhibition by phenolic compounds from *Usnea longissima*," South African Journal of Botany, vol. 120, pp. 326-330, 2019.
- [8] M. J. O. Wijekoon, R. Bhat, and A. A. Karim, "Effect of extraction solvents on the phenolic compounds and antioxidant activities of bunga kantan (*Etlingera elatior* Jack.) inflorescence," Journal of food composition and analysis, vol. 24, no. 4-5, pp. 615-619, 2011.
- [9] B. Sultana, F. Anwar, and R. Przybylski, "Antioxidant activity of phenolic components present in barks of *Azadirachta indica*, *Terminalia arjuna*, *Acacia nilotica*, and *Eugenia jambolana* Lam. trees," Food chemistry, vol. 104, no. 3, pp. 1106-1114, 2007.
- [10] A. M. Grumezescu and A. M. Holban, *Ingredients extraction by physicochemical methods in food*. Academic Press, 2017.
- [11] M. Vinatoru, "An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs," Ultrasonics sonochemistry, vol. 8, no. 3, pp. 303-313, 2001.
- [12] J. F. Osorio-Tobón, "Recent advances and comparisons of conventional and alternative extraction techniques of phenolic compounds," Journal of Food Science and Technology, vol. 57, pp. 4299-4315, 2020.
- [13] B. K. Tiwari, "Ultrasound: A clean, green extraction technology," TrAC Trends in Analytical Chemistry, vol. 71, pp. 100-109, 2015.
- [14] M. Rutkowska, J. Namieśnik, and P. Konieczka, "Ultrasound-assisted extraction," in *The application of green solvents in separation processes*: Elsevier, 2017, pp. 301-324.
- [15] P. A. Freitas, C. González-Martínez, and A. Chiralt, "Application of ultrasound pre-treatment for enhancing extraction of bioactive compounds from rice straw," Foods, vol. 9, no. 11, p. 1657, 2020.
- [16] N. M'hiri, I. Ioannou, N. M. Boudhrioua, and M. Ghoul, "Effect of different operating conditions on the extraction of phenolic compounds in orange peel," Food and bioproducts processing, vol. 96, pp. 161-170, 2015.
- [17] T. Wang, N. Guo, S.-X. Wang, P. Kou, C.-J. Zhao, and Y.-J. Fu, "Ultrasound-negative pressure cavitation extraction of phenolic compounds from blueberry leaves and evaluation of its DPPH radical scavenging activity," Food and Bioproducts Processing, vol. 108, pp. 69-80, 2018.
- [18] I. Savic Gajic, I. Savic, I. Boskov, S. Žerajić, I. Markovic, and D. Gajic, "Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from black locust (*Robinia pseudoacaciae*) flowers and comparison with conventional methods," Antioxidants, vol. 8, no. 8, p. 248, 2019.
- [19] J. O. Ampofo and M. Ngadi, "Ultrasonic assisted phenolic elicitation and antioxidant potential of common bean (*Phaseolus vulgaris*) sprouts," Ultrasonics Sonochemistry, vol. 64, p. 104974, 2020.
- [20] R. Ali, M. Billah, M. Hassan, and S. M. R. Dewan, "Enhydra fluctuans Lour: a review," Research Journal of Pharmacy and Technology, vol. 6, no. 9, pp. 927-929, 2013.
- [21] M. Al mujaddade Alfasane, S. Kauser, U. F. Shahjadee, and M. Khondker, "Biochemical composition of some selected aquatic macrophytes under ex-situ conditions," Journal of the Asiatic Society of Bangladesh, Science, vol. 44, no. 1, pp. 53-60, 2018.

- [22] U. Sarma, V. V. Borah, K. K. Saikia, and N. Hazarika, "Enhydra fluctuans: A review on its pharmacological importance as a medicinal plant and prevalence and use in North-East India," *Int. J. Pharmacy Pharm. Sci.*, vol. 6, pp. 48-50, 2014.
- [23] T. K. Dua, S. Dewanjee, R. Khanra, N. Bhattacharya, B. Bhaskar, M. Zia-Ul-Haq, and V. De Feo, "The effects of two common edible herbs, *Ipomoea aquatica* and *Enhydra fluctuans*, on cadmium-induced pathophysiology: a focus on oxidative defence and anti-apoptotic mechanism," *Journal of Translational Medicine*, vol. 13, pp. 1-19, 2015.
- [24] M. K. Alam, Z. H. Rana, S. N. Islam, and M. Akhtaruzzaman, "Total phenolic content and antioxidant activity of methanolic extract of selected wild leafy vegetables grown in Bangladesh: A cheapest source of antioxidants," *Slovak Journal of Food Sciences/Potravinarstvo*, vol. 13, no. 1, 2019.
- [25] S. S. Lopa, M. Y. Al-Amin, M. K. Hasan, M. S. Ahammed, and K. M. Islam, "Phytochemical analysis and cholinesterase inhibitory and antioxidant activities of *Enhydra fluctuans* relevant in the management of Alzheimer's disease," *International Journal of Food Science*, vol. 2021, no. 1, p. 8862025, 2021.
- [26] V. L. Singleton, R. Orthofer, and R. M. Lamuela-Raventós, "Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent," in *Methods in enzymology*, vol. 299: Elsevier, 1999, pp. 152-178.
- [27] B. S. B. Bamba, J. Shi, C. C. Tranchant, S. J. Xue, C. F. Forney, and L.-T. Lim, "Influence of extraction conditions on ultrasound-assisted recovery of bioactive phenolics from blueberry pomace and their antioxidant activity," *Molecules*, vol. 23, no. 7, p. 1685, 2018.
- [28] T. Lafarga, M. J. Rodríguez-Roque, G. Bobo, S. Villaró, and I. Aguiló-Aguayo, "Effect of ultrasound processing on the bioaccessibility of phenolic compounds and antioxidant capacity of selected vegetables," *Food Science and Biotechnology*, vol. 28, pp. 1713-1721, 2019.
- [29] Q. D. Do, A. E. Angkawijaya, P. L. Tran-Nguyen, L. H. Huynh, F. E. Soetaredjo, S. Ismadji, and Y.-H. Ju, "Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Limnophila aromatica*," *Journal of food and drug analysis*, vol. 22, no. 3, pp. 296-302, 2014.
- [30] B. Lapornik, M. Prošek, and A. G. Wondra, "Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time," *Journal of food engineering*, vol. 71, no. 2, pp. 214-222, 2005.
- [31] B. Pavlič et al., "Microwave-assisted extraction of peppermint polyphenols—Artificial neural networks approach," *Food and Bioproducts Processing*, vol. 118, pp. 258-269, 2019.
- [32] S. Şahin and R. Şamlı, "Optimization of olive leaf extract obtained by ultrasound-assisted extraction with response surface methodology," *Ultrasonics sonochemistry*, vol. 20, no. 1, pp. 595-602, 2013.
- [33] H. Zieliński and H. Kozłowska, "Antioxidant activity and total phenolics in selected cereal grains and their different morphological fractions," *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 48, no. 6, pp. 2008-2016, 2000.
- [34] F. Salimi, M. Fattahi, and J. Hamzei, "Application of response surface methodology to optimize celery (*Apium graveolens* L.) aerial part extraction and its phenolic compounds and antioxidant activity using ultrasound-assisted," *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, vol. 35, no. 4, pp. 644-664, 2019.

- [35] N. Čujić, K. Šavikin, T. Janković, D. Pljevljakušić, G. Zdunić, and S. Ibrić, "Optimization of polyphenols extraction from dried chokeberry using maceration as traditional technique," *Food chemistry*, vol. 194, pp. 135-142, 2016.
- [36] C. M. Librán Cuervas-Mons, L. Mayor López, E. M. García Castelló, and D. J. Vidal Brotons, "Polyphenol extraction from grape wastes: Solvent and pH effect," *Agricultural Sciences*, vol. 4, no. 9B, pp. 56-62, 2013.
- [37] N. Masuda, A. Maruyama, T. Eguchi, T. Hirakawa, and Y. Murakami, "Influence of microbubbles on free radical generation by ultrasound in aqueous solution: dependence of ultrasound frequency," *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 119, no. 40, pp. 12887-12893, 2015.
- [38] B. Miljevic, F. Hedayat, S. Stevanovic, K. Fairfull-Smith, S. Bottle, and Z. Ristovski, "To sonicate or not to sonicate PM filters: reactive oxygen species generation upon ultrasonic irradiation," *Aerosol science and technology*, vol. 48, no. 12, pp. 1276-1284, 2014.
- [39] J. Stojanovic and J. L. Silva, "Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries," *Food chemistry*, vol. 101, no. 3, pp. 898-906, 2007.