

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐIỀU KIỆN TRÍCH LY ĐẾN HOẠT TÍNH KHÁNG OXY HÓA VÀ KHÁNG KHUẨN CỦA DỊCH CHIẾT CỦ RAU MÁ THỦY CANH (*CENTELLA ASIATICA* (L.) URBAN)

VÕ THỊ THU THÚY¹ - NGUYỄN TRUNG TÍNH¹ - VƯƠNG BẢO THY¹
- VÕ THANH BEO¹ - TRẦN HỮU THANH HUY¹ - BÙI THẾ VINH^{*}

¹Trường Đại học Cửu Long

Mekong University

* Email: btvinhvn@yahoo.com.vn.

Ngày nhận bài: 10/7/2026

Ngày sửa bài: 27/7/2026

Ngày duyệt đăng bài: 12/8/2026

Tóm tắt:

Nghiên cứu nhằm khảo sát ảnh hưởng của 3 yếu tố công nghệ trích ly gồm: tỷ lệ nguyên liệu/dung môi (1/10, 1/20, 1/30 g/mL), nhiệt độ trích ly (40-80°C) và thời gian trích ly (40-70 phút) đến hoạt tính kháng oxy hóa (DPPH) và khả năng kháng khuẩn đối với *Escherichia coli* và *Staphylococcus aureus* của dịch chiết củ rau má thủy canh (*Centella asiatica* (L.) Urban). Kết quả cho thấy, điều kiện trích ly tối ưu với tỷ lệ nguyên liệu/dung môi là 1/20 (g/mL) ở nhiệt độ 70°C trong 60 phút thu được dịch chiết có hoạt tính DPPH đạt $15,42 \pm 0,19 \mu\text{mol TE/g}$. Đồng thời, dịch chiết thể hiện hiệu quả kháng khuẩn mạnh, với đường kính vòng kháng khuẩn đạt $16,00 \pm 1,00 \text{ mm}$ đối với *Escherichia coli* và $18,33 \pm 0,58 \text{ mm}$ đối với *Staphylococcus aureus* ở nồng độ 1.000 mg/mL, tương đương với kháng sinh đối chứng Ampicillin (100 $\mu\text{g/mL}$). Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho việc xây dựng quy trình trích ly hiệu quả, phục vụ khai thác nguồn dược liệu rau má thủy canh trong phát triển thực phẩm chức năng và dược liệu.

Từ khóa: rau má thủy canh, trích ly, kháng oxy hóa, kháng khuẩn

Effects of extraction conditions on the antioxidant and antibacterial activities of hydroponic pennywort tuber extracts (*Centella asiatica* (L.) Urban)

Abstract:

This study investigates the effects of three extraction parameters: solid-to-solvent ratio (1:10, 1:20, and 1:30 g/mL), extraction temperature (40–80°C), and extraction time (40 - 70 min), on the antioxidant activity and antibacterial activity of hydroponic pennywort tuber extracts against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. The optimal conditions were a solid-to-solvent ratio of 1:20, 70°C, and 60 min, producing DPPH antioxidant activity of $15.42 \pm 0.19 \mu\text{mol TE/g}$. At 1,000 mg/mL, the extract produced inhibition zones of $16.00 \pm 1.00 \text{ mm}$ against *E. coli* and $18.33 \pm 0.58 \text{ mm}$ against *S. aureus*, comparable to ampicillin at 100 $\mu\text{g/mL}$. These findings provide a scientific basis for developing efficient extraction processes for functional food and medicinal applications.

Keywords: hydroponic pennywort, extraction, antioxidant activity, antibacterial activity

1. Đặt vấn đề

Rau má (*Centella asiatica* (L.) Urban), còn được biết đến với tên gọi Gotu Kola, là một loại cây dược liệu lâu đời thuộc họ Hoa tán (Apiaceae), được sử dụng rộng rãi trong y học cổ truyền Ayurveda và Đông y từ hàng nghìn năm qua (Gohil et al., 2010; Bylka et al., 2013; Biswas et al., 2021). Loài cây này phân bố phổ biến ở các quốc gia Nam Á và Đông Nam Á, không chỉ được sử dụng như một vị thuốc trong điều trị các bệnh lý như thấp khớp, viêm nhiễm, giang mai, bệnh ngoài da và tiêu chảy, mà còn được xem như một loại rau ăn trong bữa ăn hàng ngày (Barge et al., 2023; Wiciński et al., 2024). Các nghiên cứu được lý hiện đại đã khẳng định rau má sở hữu một phổ hoạt tính sinh học đa dạng và mạnh mẽ, bao gồm hoạt tính chống oxy hóa, kháng viêm, kháng khuẩn, kháng u, hỗ trợ làm lành vết thương, bảo vệ hệ thần kinh và điều hòa miễn dịch (James & Dubery, 2009; Hashim et al., 2011).

Tuy nhiên, hiệu quả trích ly các hợp chất sinh học từ nguyên liệu thực vật nói chung phụ thuộc chặt chẽ vào các thông số công nghệ của quá trình chiết xuất. Các yếu tố then chốt bao gồm tỷ lệ nguyên liệu/dung môi, nhiệt độ, thời gian và loại dung môi, tất cả đều có ảnh hưởng quyết định đến hiệu suất thu hồi và độ ổn định của hoạt chất (Nacz & Shahidi, 2004). Việc lựa chọn không phù hợp các thông số này có thể dẫn đến hiệu suất chiết xuất thấp, hoặc ngược lại, gây phân hủy nhiệt các cấu trúc nhạy cảm, làm suy giảm hoạt tính kháng oxy hóa của dịch chiết (Xu & Chang, 2007; Mitsikaris et al., 2024). Nghiên cứu tổng quan của Sabaragamuwa & Perera (2023) đã chỉ ra rằng hoạt tính kháng oxy hóa của các phân đoạn dịch chiết rau má biến động đáng kể tùy theo kỹ thuật trích ly và dung môi sử dụng, trong khi Idris & Mohd Nadzir (2021) tổng hợp cho thấy phương pháp và điều kiện chiết xuất ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu lực kháng khuẩn của các hợp chất sinh học chiết được từ rau má đối với cả vi khuẩn Gram âm và Gram dương.

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu khảo sát ảnh hưởng của điều kiện trích ly đến hàm lượng hoạt chất và hoạt tính sinh học của rau má trồng theo phương thức truyền thống, phần lớn các nghiên cứu này tập trung vào phần lá (Hashim et al., 2011). Các dữ liệu về tối ưu hóa quy trình trích ly đối với củ rau má thủy canh chưa được khai thác triệt để, trong khi đó, các nghiên cứu trên các bộ phận khác của cây cho thấy, sự khác biệt đáng kể về thành phần hóa học và hoạt tính sinh học, đòi hỏi cần có những nghiên cứu riêng biệt để xác định điều kiện chiết xuất phù hợp (James & Dubery, 2009; Zeng et al. 2025). Xuất phát từ thực tế trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm: khảo sát ảnh hưởng riêng lẻ của tỷ lệ nguyên liệu/dung môi, nhiệt độ và thời gian trích ly đến hoạt tính kháng oxy hóa DPPH và khả năng kháng khuẩn đối với *Escherichia coli* và *Staphylococcus aureus* của dịch chiết củ rau má thủy canh; và xác định điều kiện trích ly tối ưu, làm cơ sở khoa học cho việc xây dựng quy trình sản xuất dịch chiết giàu hoạt chất sinh học, ứng dụng trong lĩnh vực thực phẩm chức năng và dược liệu.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Củ rau má tươi được thu hoạch từ hệ thống trồng thủy canh, đạt độ trưởng thành sinh lý đồng đều nhằm hạn chế sai số do sự khác biệt về tuổi sinh lý và hàm lượng hoạt chất ban đầu giữa các cá thể, sau đó được rửa sạch, loại bỏ tạp chất, phần hư thối và để ráo nước trước khi tiến hành các thí nghiệm trích ly. Nguyên liệu được xay nhuyễn bằng máy xay sinh tố công nghiệp cùng dung môi nước, theo tỷ lệ 100g củ tươi với 4 L nước cất, để tạo thành dạng bột nhão mịn, hỗn hợp được lọc thô qua vải lọc và lọc tinh (lọc chân không/ly tâm) để thu dịch chiết ban đầu dùng cho các thí nghiệm bố trí theo từng nhân tố khảo sát.

Hóa chất phân tích sử dụng trong nghiên cứu gồm 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), Trolox, dimethyl sulfoxide (DMSO) và kháng sinh Ampicillin, đạt độ tinh khiết phân tích. Các chủng vi khuẩn kiểm định *Escherichia coli* (Gram âm) và *Staphylococcus aureus* (Gram dương) được sử dụng làm đối tượng đánh giá hoạt tính kháng khuẩn.

2.2. Bố trí thí nghiệm

2.2.1. Khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ củ rau má thủy canh/nước

Thí nghiệm được bố trí ngẫu nhiên hoàn toàn với một nhân tố là tỷ lệ nguyên liệu/dung môi (w/v) và 3 lần lặp lại, gồm 3 mức: (1/10), (1/20) và (1/30). Thời gian trích ly được cố định ở 1 giờ và nhiệt độ 50°C. Cân chính xác 2,00 g mẫu đã chuẩn bị vào cốc 100 mL, bổ sung nước theo tỷ lệ khảo sát, sau đó ly tâm ở 5.500 vòng/phút trong 10 phút để thu dịch trong dùng cho các phân tích tiếp theo.

2.2.2. Khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ trích ly

Thí nghiệm được bố trí ngẫu nhiên hoàn toàn với một nhân tố nhiệt độ trích ly (°C) và 3 lần lặp lại, gồm 5 mức nhiệt: 40°C, 50°C, 60°C, 70°C và 80°C. Thí nghiệm sử dụng tỷ lệ nguyên liệu/dung môi tối ưu thu được từ Thí nghiệm 2.2.1 và cố định thời gian trích ly 1 giờ, nhằm cách ly ảnh hưởng của nhiệt độ khỏi các yếu tố công nghệ khác.

2.2.3. Khảo sát ảnh hưởng của thời gian trích ly

Thí nghiệm được bố trí ngẫu nhiên hoàn toàn với một nhân tố C (thời gian trích ly; phút) và ba lần lặp lại, gồm bốn mức: C1 (40 phút), C2 (50 phút), C3 (60 phút) và C4 (70 phút). Thí nghiệm áp dụng tỷ lệ tối ưu từ Thí nghiệm 2.2.1 và nhiệt độ tối ưu từ Thí nghiệm 2.2.2.

2.3. Các chỉ tiêu đánh giá và phương pháp phân tích

Hoạt tính kháng oxy hóa (DPPH): được đánh giá thông qua khả năng trung hòa gốc tự do 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) theo phương pháp của Brand-Williams et al. (1995). Dịch chiết được cho phản ứng với dung dịch DPPH 0,1 mM trong ethanol, ủ trong bóng tối 30 min ở nhiệt độ phòng, sau đó đo độ hấp thụ ở bước sóng 517 nm. Kết quả được biểu thị bằng μmol đương lượng Trolox trên gam chất khô ($\mu\text{mol TE/g DW}$), dựa trên đường chuẩn Trolox (0- 100 μM).

Hoạt tính kháng khuẩn: được đánh giá bằng phương pháp khuếch tán đĩa thạch (disc diffusion assay) theo Bauer et al. (1966). Hai chủng vi khuẩn kiểm định gồm *Escherichia coli* và *Staphylococcus aureus* được cấy trải trên môi trường Mueller- Hinton agar. Các đĩa giấy vô trùng được tẩm dịch chiết ở ba nồng độ 250, 500 và 1000 mg/mL (pha trong DMSO 30%) và đặt lên bề mặt thạch đã cấy vi khuẩn. Đối chứng dương sử dụng đĩa giấy tẩm ampicillin (100 $\mu\text{g/mL}$); đối chứng âm sử dụng DMSO 30%. Sau khi ủ ở 37°C trong 24 giờ, đường kính vòng kháng khuẩn (ĐKVKK) được đo bằng thước kẹp điện tử (độ chính xác 0,1 mm) và biểu thị bằng milimet (mm).

2.4. Phân tích thống kê

Số liệu được phân tích phương sai một nhân tố (ANOVA) và so sánh trung bình giữa các nghiệm thức bằng kiểm định LSD ở mức ý nghĩa $p < 0,05$, sử dụng phần mềm Statgraphics Centurion XV. Mỗi thí nghiệm được thực hiện với ba lần lặp lại độc lập, số liệu trình bày dưới dạng trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn.

3. Kết quả và thảo luận

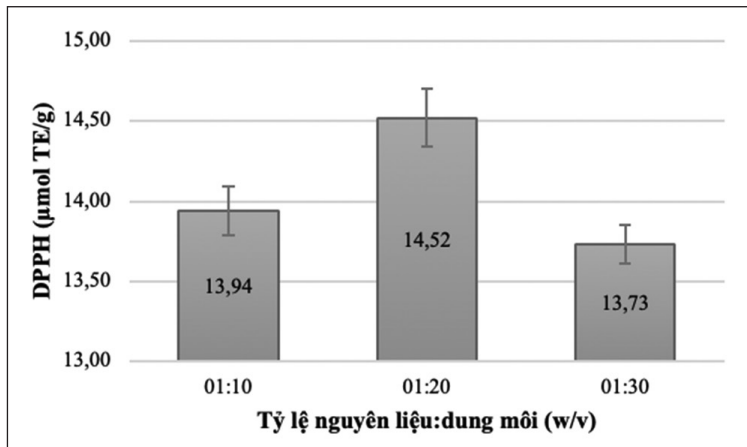
3.1. Ảnh hưởng của tỷ lệ nguyên liệu/dung môi đến khả năng kháng oxy hóa và kháng khuẩn

3.1.1 Ảnh hưởng của tỷ lệ nguyên liệu/dung môi đến khả năng kháng oxy hóa

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ trích ly củ rau má thủy canh/nước đến hoạt tính kháng oxy hóa DPPH được thể hiện ở Hình 1. Phân tích thống kê cho thấy, tỷ lệ nguyên liệu:dung môi ảnh hưởng có ý nghĩa đến hoạt tính DPPH ($p < 0,05$); đạt giá trị cao nhất ở tỷ lệ 1/20 ($14,52 \pm 0,18 \mu\text{mol TE/g}$), khác biệt có ý nghĩa so với 1/10 ($13,94 \pm 0,15 \mu\text{mol TE/g}$) và 1/30 ($13,73 \pm 0,12 \mu\text{mol TE/g}$).

Sự gia tăng hoạt tính kháng oxy hóa khi tăng tỷ lệ dung môi từ 1/10 lên 1/20 phù hợp với nguyên lý khuếch tán chất tan: chênh lệch nồng độ giữa nội bào và dung môi càng lớn thì tốc độ và mức độ khuếch tán các hợp chất phenolic và triterpenoid ra ngoài môi trường trích ly càng cao, theo định luật

Hình 1. Ảnh hưởng của tỷ lệ củ rau má/nước đến hoạt tính DPPH



2007). Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng tỷ lệ dung môi lên 1/30, hoạt tính DPPH lại giảm - điều này có thể giải thích do hiện tượng pha loãng quá mức - khi lượng dung môi vượt quá mức cần thiết để đạt trạng thái cân bằng khuếch tán, nồng độ biểu kiến của các hợp chất kháng oxy hóa trong một đơn vị thể tích dịch chiết giảm tương đối, làm giảm hoạt tính đo được trên cùng khối lượng chất khô (Naczek & Shahidi, 2004). Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây đã chứng minh, hàm lượng phenolic và flavonoid trong dịch chiết rau má có tương quan thuận với hoạt tính kháng oxy hóa, đồng thời khẳng định tiềm năng ứng dụng của củ rau má thủy canh như một nguồn nguyên liệu giàu chất chống oxy hóa tự nhiên trong các sản phẩm thực phẩm chức năng và dược phẩm (Pittella et al., 2009; Hiranpradith et al., 2025; Vuong et al., 2026).

3.1.2. Ảnh hưởng của tỷ lệ nguyên liệu/dung môi đến khả năng kháng khuẩn

Hoạt tính kháng khuẩn của các dịch chiết củ rau má thủy canh được đánh giá thông qua phương pháp khuếch tán trên đĩa thạch (agar well diffusion), kết quả được trình bày tại Bảng 1. Kết quả cho thấy tỷ lệ 1/20 thể hiện khả năng ức chế vi khuẩn mạnh nhất ở tất cả các nồng độ khảo sát. Cụ thể, tại nồng độ 1000 mg/mL, cho đường kính vòng kháng khuẩn (ĐKVKK) đạt $12,67 \pm 0,58$ mm đối với *Escherichia coli* và $14,33 \pm 1,15$ mm đối với *Staphylococcus aureus*, cho thấy hiệu quả kháng khuẩn vượt trội so với hai nghiệm thức còn lại.

Bảng 1. Đường kính vòng kháng khuẩn (mm) của dịch chiết củ rau má ở các tỷ lệ trích ly khác nhau

Nồng độ dịch chiết (mg/ mL)	<i>Escherichia coli</i>			<i>Staphylococcus aureus</i>		
	1/10	1/20	1/30	1/10	1/20	1/30
250	-	$7,33 \pm 1,53^d$	-	$0,67 \pm 0,58^D$	$8,00 \pm 1,00^C$	-
500	$4,67 \pm 0,58^c$	$9,67 \pm 2,08^c$	-	$3,00 \pm 1,00^C$	$10,67 \pm 0,58^B$	-
1000	$9,33 \pm 1,53^b$	$12,67 \pm 0,58^b$	-	$5,67 \pm 1,15^B$	$14,33 \pm 1,15^B$	-
Ampicillin (100 μg/ mL)	$13,33 \pm 0,58^a$	$14,33 \pm 1,15^a$	$13,67 \pm 1,15^a$	$15,67 \pm 0,58^A$	$15,67 \pm 1,53^A$	$15,00 \pm 1,00^A$

Ghi chú: (-) Không phát hiện vòng vô khuẩn. Trong cùng một cột, các giá trị mang chữ cái khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Khả năng kháng khuẩn mạnh khi được trích ly với tỷ lệ 1/20 được giải thích là do tỷ lệ nguyên liệu/dung môi tối ưu đã tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình khuếch tán và hòa tan các hợp chất kháng khuẩn, đặc biệt là các hợp chất phenolic và triterpenoid saponin như asiaticoside và madecassoside, được biết đến với hoạt tính kháng khuẩn phổ rộng (Chew et al., 2011; Hashim et al., 2011). Các hợp chất có khả năng làm tổn thương tính toàn vẹn của màng tế bào, làm tăng tính thấm màng, gây rò rỉ các thành phần nội bào, đồng thời ảnh hưởng đến các quá trình chuyển hóa năng lượng và sinh lý tế bào, từ đó ức chế sự sinh trưởng của vi khuẩn (Wei et al., 2023; Chonsut et al., 2024).

Ngược lại, tỷ lệ 1/30 hoàn toàn không thể hiện khả năng kháng khuẩn đối với cả hai chủng vi khuẩn ở tất cả các nồng độ khảo sát (250 - 1000 mg/mL), với ĐKVKK bằng 0 mm. Điều này cho thấy tỷ lệ dung môi quá cao (1/30) dẫn đến hiện tượng pha loãng dịch chiết, làm cho nồng độ các hợp chất kháng khuẩn trong dịch chiết không đạt được nồng độ ức chế tối thiểu (Minimum Inhibitory Concentration - MIC) cần thiết để gây ức chế sự sinh trưởng của vi khuẩn (Burt, 2004). Nồng độ MIC là ngưỡng nồng độ tối thiểu của chất kháng khuẩn cần thiết để ngăn chặn sự phát triển của vi sinh vật. Nếu nồng độ hoạt chất dưới ngưỡng này thì vi khuẩn vẫn có khả năng sinh trưởng và không xuất hiện vòng kháng khuẩn trên đĩa thạch (Andrews, 2001). Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra, hiệu quả kháng khuẩn của dịch chiết thực vật phụ thuộc chặt chẽ vào nồng độ hoạt chất, và việc sử dụng lượng dung môi quá lớn có thể làm giảm đáng kể hoạt tính kháng khuẩn do hiệu ứng pha loãng (Xu & Chang, 2007).

Điểm đáng chú ý là dịch chiết thể hiện hoạt tính kháng khuẩn mạnh hơn đối với *Staphylococcus aureus* so với *Escherichia coli* thể hiện ở ĐKVKK cao hơn ở tất cả các nồng độ dịch chiết. Sự khác biệt này có thể được giải thích do sự khác nhau về cấu trúc thành tế bào giữa vi khuẩn Gram dương và Gram âm. Cụ thể, *Staphylococcus aureus* là vi khuẩn Gram dương có lớp peptidoglycan dày nhưng không có màng ngoài, tạo điều kiện cho các hợp chất kháng khuẩn thẩm thấu dễ dàng hơn vào tế bào chất; trong khi *Escherichia coli* là vi khuẩn Gram âm có cấu trúc phức tạp hơn với lớp màng ngoài giàu lipopolysaccharide (LPS) các protein màng và hệ thống vận chuyển, tạo thành hàng rào bảo vệ làm hạn chế sự khuếch tán của nhiều hợp chất kháng khuẩn vào tế bào (Burt, 2004; Nikaido, 2003). Điều này cho thấy củ rau má thủy canh có tiềm năng trở thành nguồn nguyên liệu tự nhiên giàu hợp chất kháng khuẩn, có triển vọng ứng dụng trong lĩnh vực bảo quản thực phẩm và phát triển các sản phẩm dược phẩm.

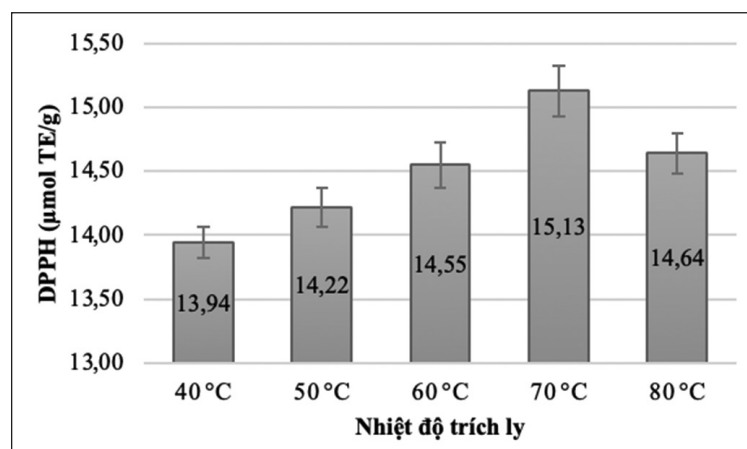
3.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ trích ly đến khả năng kháng oxy hóa và khả năng kháng khuẩn

3.2.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ trích ly đến khả năng kháng oxy hóa

Kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của nhiệt độ đến hoạt tính kháng oxy hóa của dịch chiết củ rau má thủy canh được trình bày tại Hình 2.

Kết quả cho thấy, hoạt tính chống oxy hóa DPPH có xu hướng tăng dần trong khoảng nhiệt độ trích ly từ 40°C đến 70°C, đạt giá trị cực đại tại 70°C ($15,13 \pm 0,20 \mu\text{mol TE/g}$). Xu hướng này có thể được lý giải trên cơ sở động học truyền khối: nhiệt độ cao làm giảm độ nhớt của dung môi, tăng hệ số khuếch tán và làm suy yếu liên kết hydro giữa các hợp chất có hoạt tính chống oxy

Hình 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ trích ly đến khả năng chống oxy hóa DPPH



hóa với thành phần polysaccharide của vách tế bào, từ đó thúc đẩy quá trình giải phóng hoạt chất vào dung môi chiết (Spigno et al., 2007). Về mặt hóa học, khả năng trung hòa gốc tự do DPPH của dịch chiết chủ yếu bắt nguồn từ các hợp chất phenolic và flavonoid, thông qua cơ chế cho electron hoặc nguyên tử hydro để ổn định gốc tự do (Chew et al., 2011; Hashim et al., 2011).

Khi tiếp tục tăng nhiệt độ lên 80°C, hoạt tính DPPH giảm nhẹ còn $14,64 \pm 0,16 \mu\text{mol TE/g}$. Sự suy giảm này được cho là hệ quả của quá trình oxy hóa và phân hủy nhiệt một phần các cấu trúc phenolic nhạy cảm ở nhiệt độ cao (Liyana-Pathirana & Shahidi, 2005). Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây trên *Centella asiatica*, trong đó hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết có liên quan đến sự hiện diện của các hợp chất phenolic, flavonoid và các chất chuyển hóa thứ cấp khác (Gunathilake et al., 2019). Như vậy, 70°C được xác định là nhiệt độ trích ly thích hợp để thu hồi tối ưu các hợp chất có hoạt tính chống oxy hóa từ củ rau má thủy canh, đồng thời hạn chế nguy cơ phân hủy nhiệt các cấu trúc hoạt chất nhạy cảm.

3.2.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ trích ly đến khả năng kháng khuẩn

Kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của nhiệt độ đến khả năng kháng khuẩn của dịch chiết củ rau má thủy canh được trình bày tại Bảng 2.

Kết quả cho thấy, hoạt tính kháng khuẩn của dịch chiết phụ thuộc rõ rệt vào nhiệt độ trích ly và nồng độ dịch chiết. Ở nhiệt độ 50°C, dịch chiết chỉ thể hiện hoạt tính kháng khuẩn ở nồng độ 500 và 1.000 mg/mL, với ĐKVKK đạt $4,00 \pm 1,00 \text{ mm}$ và $8,33 \pm 1,15 \text{ mm}$ đối với *E. coli*, và $4,67 \pm 0,58 \text{ mm}$ và $10,00 \pm 1,00 \text{ mm}$ đối với *S. aureus*; không quan sát thấy vòng kháng khuẩn ở nồng độ 250 mg/mL. Khi nhiệt độ tăng lên 60°C và 70°C, hoạt tính kháng khuẩn tăng dần theo cả nồng độ và nhiệt độ, với ĐKVKK cao nhất tại 70°C và nồng độ 1000 mg/mL đạt $13,33 \pm 0,58 \text{ mm}$ (*E. coli*) và $15,33 \pm 0,58 \text{ mm}$ (*S. aureus*), và tương đương với đối chứng dương ampicillin (100 $\mu\text{g/mL}$) ($13,33 \pm 0,58 \text{ mm}$ và $15,00 \pm 1,00 \text{ mm}$, tương ứng).

Tại nhiệt độ 80°C, hoạt tính kháng khuẩn tiếp tục tăng nhẹ, đạt ĐKVKK cao nhất là $14,67 \pm 0,58 \text{ mm}$ (*E. coli*) và $16,33 \pm 1,15 \text{ mm}$ (*S. aureus*) ở nồng độ 1.000 mg/mL, cao hơn ampicillin khoảng 0,33- 0,67 mm. Tuy nhiên, khi nhiệt độ tăng lên 90°C, hoạt tính kháng khuẩn giảm rõ rệt ở tất cả

Bảng 2. Đường kính vòng kháng khuẩn (mm) theo các mức nhiệt độ trích ly

Nhiệt độ (°C)	Escherichia coli			Ampicilin (100 µg/ mL)	Staphylococcus aureus			Ampicilin (100 µg/ mL)
	Nồng độ dịch chiết (mg/mL)				Nồng độ dịch chiết (mg/mL)			
	250	500	1000		250	500	1000	
40	-	4,00±1,00 ^b	8,33±1,15 ^c	12,33±0,58 ^d	-	4,67±0,58 ^b	10,00±1,00 ^c	15,33±0,58 ^d
50	5,00±1,00 ^a	7,67±2,08 ^b	10,67±0,58 ^c	13,33±0,58 ^d	6,00±1,00 ^a	8,67±0,58 ^b	12,33±1,15 ^c	15,33±1,15 ^d
60	8,00±1,00 ^a	10,33±1,53 ^b	13,33±0,58 ^c	13,33±0,58 ^c	8,33±1,15 ^a	11,00±1,00 ^b	15,33±0,58 ^c	15,00±1,00 ^c
70	9,00±1,00 ^a	11,67±2,08 ^b	14,67±0,58 ^c	14,00±1,00 ^{bc}	10,00±1,00 ^a	12,67±0,58 ^b	16,33±1,15 ^c	16,00±1,00 ^c
80	7,00±1,00 ^a	9,33±1,53 ^b	12,00±1,00 ^c	13,33±0,58 ^c	8,00±1,00 ^a	10,67±0,58 ^b	14,00±1,00 ^c	15,00±1,00 ^c

Ghi chú: Trong cùng một hàng, các giá trị mang chữ cái khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

các nồng độ, với ĐKVKK tại nồng độ 1.000 mg/mL chỉ còn $12,00 \pm 1,00$ mm (*E. coli*) và $14,00 \pm 1,00$ mm (*S. aureus*), thấp hơn so với ampicillin và so với các nghiệm thức 70- 80°C. Như vậy, mặc dù hoạt tính kháng khuẩn cao nhất quan sát được ở 80°C, nhưng xét về hiệu quả tổng thể, nhiệt độ trích ly 70°C không chỉ tối ưu cho việc chiết xuất các hợp chất có khả năng chống oxy hóa như đã thảo luận ở phần trước, mà còn bảo toàn được hoạt tính kháng khuẩn của các hợp chất này, cho phép dịch chiết đạt hiệu quả ức chế vi khuẩn tương đương với kháng sinh chuẩn.

Về tính nhạy cảm của các chủng vi khuẩn, kết quả cho thấy, *S. aureus* (vi khuẩn Gram dương) nhạy cảm hơn với dịch chiết so với *E. coli* (vi khuẩn Gram âm) ở tất cả các nghiệm thức và nồng độ khảo sát. Sự khác biệt này có thể được giải thích bởi sự khác nhau về cấu trúc thành tế bào giữa hai nhóm vi khuẩn. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra, dịch chiết rau má thường có hoạt tính kháng khuẩn mạnh hơn đối với vi khuẩn Gram dương so với Gram âm (Wong & Ramli, 2021; Wei et al., 2023). Cơ chế kháng khuẩn của các hợp chất phenolic và flavonoid được cho là liên quan đến khả năng phá vỡ cấu trúc màng tế bào chất, ức chế tổng hợp acid nucleic/protein và can thiệp vào quá trình chuyển hóa năng lượng của vi khuẩn (Cushnie & Lamb, 2005). Bên cạnh đó, các hợp chất triterpenoid saponin như asiaticoside và madecassoside cũng đã được chứng minh có hoạt tính kháng khuẩn phổ rộng thông qua cơ chế tương tự, làm biến đổi tính toàn vẹn thành tế bào, tăng tính thấm màng và ức chế enzym trong chuỗi hô hấp của vi khuẩn, góp phần vào hiệu quả ức chế vi khuẩn quan sát được trong nghiên cứu này (Wei et al., 2023; Bandopadhyay et al., 2023).

3.3. Ảnh hưởng của thời gian trích ly đến khả năng kháng oxy hoá và khả năng kháng khuẩn

3.3.1. Ảnh hưởng của thời gian trích ly khả năng kháng oxy hoá

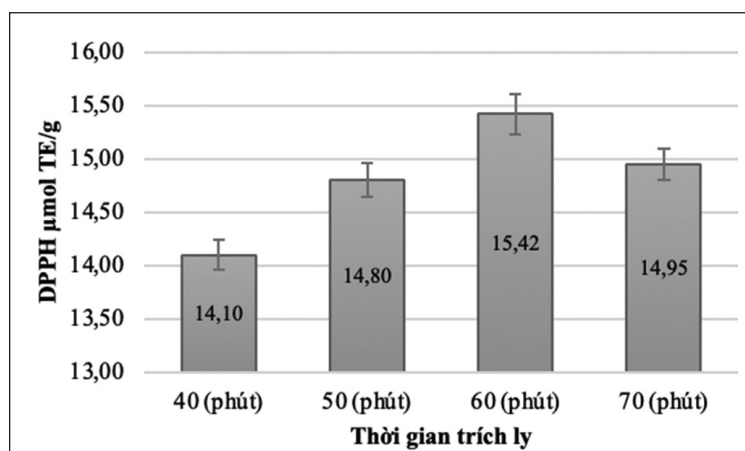
Ảnh hưởng của thời gian trích ly đến hoạt tính kháng oxy hóa DPPH được thể hiện trong Hình 3.

Kết quả khảo sát cho thấy, hoạt tính kháng oxy hóa DPPH của dịch chiết tăng dần theo thời gian trích ly, đạt giá trị cực đại tại 60 phút ($15,42 \pm 0,19$ μ mol TE/g), trước khi giảm nhẹ khi kéo dài đến 70 phút ($14,95 \pm 0,15$ μ mol TE/g), kết quả có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Xu hướng tăng trong giai đoạn đầu phù hợp với cơ chế truyền khối trong trích ly rắn- lỏng: thời gian tiếp xúc kéo dài tạo điều kiện cho dung môi thẩm thấu sâu, làm trương nở vách tế bào và thúc đẩy khuếch tán các hợp chất có hoạt tính chống oxy hóa ra môi trường chiết (Takeuchi et al., 2009). Sự suy giảm nhẹ ở mốc 70 phút có thể liên quan đến hiện tượng oxy hóa một phần các cấu trúc phenolic nhạy cảm khi tiếp xúc kéo dài với nhiệt độ chiết, đồng thời hệ trích ly đã tiệm cận trạng thái cân bằng động, làm giảm động lực khuếch tán thêm của các hợp chất có hoạt tính chống oxy hóa (Antony & Farid, 2022; Chew et al., 2011). Kết quả này khẳng định mốc 60 phút là điều kiện tối ưu để thu nhận dịch chiết có hoạt tính kháng oxy hóa cao nhất.

3.3.2. Ảnh hưởng của thời gian trích ly đến khả năng kháng khuẩn

Kết quả đường kính vòng kháng khuẩn (ĐKVKK; cm) của dịch chiết củ rau má thủy canh theo các mốc thời gian trích ly được trình bày ở Bảng 3.

Hình 3. Ảnh hưởng của thời gian trích ly đến khả năng kháng oxy hoá DPPH



Bảng 3. Đường kính vòng kháng khuẩn (mm) theo các mốc thời gian trích ly

Thời gian (phút)	<i>Escherichia coli</i>			Ampicilin (100 µg/ mL)	<i>Staphylococcus aureus</i>			Ampicilin (100 µg/ mL)
	Nồng độ dịch chiết (mg/mL)				Nồng độ dịch chiết (mg/mL)			
	250	500	1000		250	500	1000	
40	2,67±1,15 ^c	7,33±1,53 ^b	12,67±0,58 ^a	15,33±0,58 ^a	3,33±0,58 ^c	8,67±1,15 ^b	13,67±1,53 ^a	16,67±1,53 ^a
50	3,67±1,15 ^c	9,33±1,53 ^b	15,67±1,15 ^a	15,33±0,58 ^a	5,33±0,58 ^c	12,67±0,58 ^b	16,00±1,00 ^a	16,67±1,53 ^a
60	8,00±1,00 ^c	10,67±1,53 ^b	16,00±1,00 ^a	15,00±1,00 ^a	9,00±1,00 ^c	12,67±1,15 ^b	18,33±0,58 ^a	17,00±1,00 ^a
70	7,00±1,00 ^c	9,67±1,53 ^b	14,00±1,00 ^a	14,67±0,58 ^a	7,67±0,58 ^c	11,00±1,00 ^b	15,33±0,58 ^a	16,33±0,58 ^a

Ghi chú: Trong cùng một hàng, các giá trị mang chữ cái khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Hoạt tính kháng khuẩn của dịch chiết đối với cả 2 chủng vi khuẩn khảo sát cũng biến thiên theo thời gian trích ly theo xu hướng tăng tương đồng với hoạt tính DPPH, theo đó giá trị ĐKVKK có xu hướng tăng dần theo nồng độ dịch chiết (từ 250 đến 1.000 mg/mL) ở tất cả các nghiệm thức thời gian, phản ánh mối quan hệ phụ thuộc liều lượng của hoạt tính kháng khuẩn có nguồn gốc thực vật. Xét theo yếu tố thời gian trích ly, hiệu lực kháng khuẩn biến thiên theo quy luật tăng dần từ 40 phút đến 60 phút, sau đó giảm nhẹ tại 70 phút; xu hướng này khá tương đồng với động học khả năng chống oxy hóa DPPH đã ghi nhận ở mục 3.3.1, cho thấy mối liên hệ chặt chẽ với hiệu lực sinh học tương ứng của dịch chiết. Với khả năng kháng khuẩn của từng chủng vi khuẩn, tại nồng độ 1000 mg/mL, thời gian trích ly 60 phút cho ĐKVKK cao nhất trên cả 2 chủng, lần lượt là $16,00 \pm 1,00$ mm đối với *E. coli* và $18,33 \pm 0,58$ mm đối với *S. aureus*. So với đối chứng dương Ampicillin (100 µg/mL) cùng nồng độ khảo sát, đạt ĐKVKK $15,00 \pm 1,00$ mm trên *E. coli* và $17,00 \pm 1,00$ mm trên *S. aureus*, dịch chiết tại 60 phút cho hiệu lực cao hơn (khác biệt không có ý nghĩa thống kê, $p > 0,05$).

Về mặt cơ chế, kết quả này có thể được lý giải trên cơ sở mối liên hệ giữa động học tích lũy hoạt chất và bản chất tác động sinh học của các hợp chất này lên tế bào vi khuẩn. Việc thiết lập mốc thời gian trích ly 60 phút cho phép đạt sự tích tụ tối đa đồng thời của saponin triterpenoid và các hợp chất phenolic, 2 nhóm hoạt chất chính được ghi nhận có khả năng gây tổn thương tế bào vi khuẩn thông qua các cơ chế bổ sung, cộng hưởng lẫn nhau. Đối với nhóm triterpenoid saponin, cơ chế kháng khuẩn đã được chứng minh thực nghiệm liên quan đến sự phá vỡ tính toàn vẹn của thành tế bào, làm tăng tính thấm của màng tế bào chất và ức chế hoạt tính của các enzyme tham gia chuỗi hô hấp hiếu khí của vi khuẩn (Wei et al., 2023). Trong khi đó, nhóm hợp chất phenolic được ghi nhận có khả năng gây biến tính và kết tủa protein màng, làm thay đổi quá trình sinh tổng hợp protein nội bào, đồng thời can thiệp vào các con đường chuyển hóa năng lượng của vi khuẩn (Efenberger-Szmechtyk et al., 2021). Sự cộng hưởng giữa 2 cơ chế tác động độc lập này là cơ sở khoa học lý giải cho hiệu lực ức chế mạnh và ổn định của dịch chiết tại 60 phút trên cả vi khuẩn Gram dương lẫn Gram âm được khảo sát trong nghiên cứu.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã xác định được bộ thông số tối ưu để thu nhận dịch chiết củ rau má thủy canh có hoạt tính kháng oxy hóa và kháng khuẩn cao nhất: tỷ lệ nguyên liệu/dung môi 1/20 (g/mL), nhiệt độ 70°C và thời gian 60 phút. Tại các giá trị này, dịch chiết thu được

có hoạt tính chống oxy hóa DPPH là $15,42 \pm 0,19 \mu\text{mol TE/g}$. Đồng thời, dịch chiết tại nồng độ 1.000 mg/mL, thể hiện hiệu quả kháng khuẩn đối với cả vi khuẩn Gram âm (*E. coli*) và Gram dương (*S. aureus*), với đường kính vòng kháng khuẩn tương đương với kháng sinh tham chiếu Ampicillin ở nồng độ 100 $\mu\text{g/mL}$ lần lượt $16,00 \pm 1,00$ (cm) và $18,33 \pm 0,58$ (cm). Kết quả nghiên cứu cung cấp nền tảng khoa học cho việc phát triển quy trình trích ly hiệu quả nhằm khai thác nguồn dược liệu phụ phẩm từ củ rau má thủy canh, phục vụ phát triển các sản phẩm thực phẩm chức năng, dược liệu và mỹ phẩm có nguồn gốc thiên nhiên ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- Andrews J. M. (2001). Determination of minimum inhibitory concentrations. The Journal of antimicrobial chemotherapy, 48 Suppl 1, 5-16. https://doi.org/10.1093/jac/48.suppl_1.5.
- Antony, A., & Farid, M. (2022). Effect of Temperatures on Polyphenols during Extraction. Applied Sciences, 12(4), 2107. <https://doi.org/10.3390/app12042107>.
- Bandopadhyay, S., Mandal, S., Ghorai, M., Jha, N. K., Kumar, M., Radha, Ghosh, A., Proćkó, J., Pérez de la Lastra, J. M., & Dey, A. (2023). Therapeutic properties and pharmacological activities of asiaticoside and madecassoside: A review. Journal of cellular and molecular medicine, 27(5), 593-608. <https://doi.org/10.1111/jcmm.17635>.
- Barge, S., Jade, D., & Talukdar, N. C. (2023). Centella asiatica Linn. In Potent anticancer medicinal plants (1st ed., pp. 1-19). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003431190-1>.
- Bauer, A. W., Kirby, W. M. M., Sherris, J. C., & Turck, M. (1966). Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. American Journal of Clinical Pathology, 45(4), 493-496. https://doi.org/10.1093/ajcp/45.4_ts.493.
- Biswas, D., Mandal, S., Chatterjee Saha, S., Tudu, C. K., Nandy, S., Batiha, G. E., Shekhawat, M. S., Pandey, D. K., & Dey, A. (2021). Ethnobotany, phytochemistry, pharmacology, and toxicity of Centella asiatica (L.) Urban: A comprehensive review. Phytotherapy research : PTR, 35(12), 6624-6654. <https://doi.org/10.1002/ptr.7248>.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT - Food Science and Technology, 28(1), 25-30. [http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods - a review. International Journal of Food Microbiology, 94(3), 223-253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>.
- Bylka, W., Znajdek-Awiżeń, P., Studzińska-Sroka, E., & Brzezińska, M. (2013). Centella asiatica in cosmetology. Postępy dermatologii i alergologii, 30(1), 46-49. <https://doi.org/10.5114/pdia.2013.33378>.
- Cacace, J. E., & Mazza, G. (2003). Optimization of extraction of anthocyanins from black currants with aqueous ethanol. Journal of Food Science, 68(1), 240-248. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb14146.x>.
- Chew, K. K., Ng, S. Y., Thoo, Y. Y., Khoo, M. Z., Wan Aida, W. M., & Ho, C. W. (2011). Effect of ethanol concentration, extraction time and extraction temperature on the recovery of phenolic compounds and antioxidant capacity of Centella asiatica. International Food Research Journal, 18(2), 571-578.
- Chonsut, P., Romyasamit, C., Konyanee, A., Niyomtham, N., Goodla, L., & Mordmuang, A. (2024). Potential Activities of Centella asiatica Leaf Extract against Pathogenic Bacteria-Associated Biofilms and Its Anti-Inflammatory Effects. Advances in pharmacological and pharmaceutical sciences, 2024, 5959077. <https://doi.org/10.1155/2024/5959077>.
- Cushnie, T. P., & Lamb, A. J. (2005). Antimicrobial activity of flavonoids. International Journal of Antimicrobial Agents, 26(5), 343-356. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2005.09.002>.
- Efenberger-Szmechtyk, M., Nowak, A., & Czyzowska, A. (2021). Plant extracts rich in polyphenols: Antibacterial agents and natural preservatives for meat and meat products. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 61(1), 149-178. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1722060>.
- Gohil, K. J., Patel, J. A., & Gajjar, A. K. (2010). Pharmacological review on Centella asiatica: A potential herbal cure-all. Indian Journal of Pharmaceutical Sciences, 72(5), 546- 556. <https://doi.org/10.4103/0250-474X.78519>.
- Gunathilake, K. D. P. P., Ranaweera, K. K. D. S., & Rupasinghe, H. P. V. (2019). Response surface optimization for recovery of polyphenols and carotenoids from leaves of Centella asiatica using an ethanol-based solvent system. Food Science & Nutrition, 7(2), 528-536. <https://doi.org/10.1002/fsn3.832>.
- Hashim, P., Sidek, H., Helan, M. H. M., Sabery, A., Palanisamy, U. D., & Ilham, M. (2011). Triterpene composition and bioactivities of Centella asiatica. Molecules, 16(2), 1310-1322. <https://doi.org/10.3390/molecules16021310>.

- Hiranpradith, V., Therdthai, N., Soonrunnarudrungsri, A., & Rungsuriyawiboon, O. (2025). Optimisation of Ultrasound-Assisted Extraction of Total Phenolics and Flavonoids Content from *Centella asiatica*. *Foods*, 14(2), 291. <https://doi.org/10.3390/foods14020291>.
- Hostettmann, K. and Marston, A. (1995) *Saponins*. Cambridge University Press, New York. 564 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511565113>.
- Idris, F. N., & Mohd Nadzir, M. (2021). Comparative Studies on Different Extraction Methods of *Centella asiatica* and Extracts Bioactive Compounds Effects on Antimicrobial Activities. *Antibiotics*, 10(4), 457. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10040457>.
- James, J. T., & Dubery, I. A. (2009). Pentacyclic triterpenoids from the medicinal herb, *Centella asiatica* (L.) Urban. *Molecules*, 14(10), 3922- 3941. <https://doi.org/10.3390/molecules14103922>.
- Liyana-Pathirana, C. M., & Shahidi, F. (2005). Antioxidant activity of commercial soft and hard wheat (*Triticum aestivum* L.) as affected by gastric pH conditions. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(7), 2433-2440. <https://doi.org/10.1021/jf049320i>.
- Mitsikaris, P. D., Kostas, S., Mourtzinou, I., Menkissoglu-Spiroudi, U., Papadopoulos, A., & Kalogiouri, N. P. (2024). Investigation of *Rosa* species by an optimized LC-QTOF-MS/MS method using targeted and non-targeted screening strategies combined with multivariate chemometrics. *Phytochemical Analysis*, 35(5), 1100-1111. <https://doi.org/10.1002/pca.3345>.
- Naczek, M., & Shahidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A*, 1054(1-2), 95-111. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.08.059>.
- Nikaido, H. (2003). Molecular basis of bacterial outer membrane permeability revisited. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 67(4), 593-656. <https://doi.org/10.1128/MMBR.67.4.593-656.2003>.
- Pittella, F., Dutra, R. C., Junior, D. D., Lopes, M. T. P., & Barbosa, N. R. (2009). Antioxidant and cytotoxic activities of *Centella asiatica* (L) Urb. *International journal of molecular sciences*, 10(9), 3713-3721. <https://doi.org/10.3390/ijms10093713>.
- Sabaragamuwa, R., & Perera, C. O. (2023). Total triterpenes, polyphenols, flavonoids, and antioxidant activity of bioactive phytochemicals of *Centella asiatica* by different extraction techniques. *Foods*, 12(21), 3972. <https://doi.org/10.3390/foods12213972>.
- Spigno, G., Tramelli, L., & De Faveri, D. M. (2007). Effects of extraction time, temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc extracts. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.021>.
- Takeuchi, T. M., Pereira, C. G., Braga, M. E. M., Maróstica, M. R., Leal, P. F., & Meireles, M. A. A. (2009). Low-pressure solvent extraction (solid- liquid extraction, microwave assisted, and ultrasound assisted) from condimentary plants. In M. A. A. Meireles (Ed.), *Extracting bioactive compounds for food products: Theory and applications* (pp. 137-218). CRC Press.
- Vuong, B. T., Beo, V. T., Ton, K. A., Huy, T. H. T., Hoang, T. K. D., & Vinh, B. T. (2026). Enhanced antioxidant and anti-inflammatory of hydroponic pennywort (*Centella asiatica*) tubers via ultrasound-assisted extraction. *Rasayan Journal of Chemistry*, 19(3), 1597-1606. <https://doi.org/10.31788/RJC.2026.1939783>.
- Wei, C., Cui, P., & Liu, X. (2023). Antibacterial Activity and Mechanism of Madecassic Acid against *Staphylococcus aureus*. *Molecules* (Basel, Switzerland), 28(4), 1895. <https://doi.org/10.3390/molecules28041895>.
- Wiciński, M., Fajkiel-Madajczyk, A., Kurant, Z., Gajewska, S., Kurant, D., Kurant, M., & Sousak, M. (2024). Can Asiatic Acid from *Centella asiatica* Be a Potential Remedy in Cancer Therapy? A Review. *Cancers*, 16(7), 1317. <https://doi.org/10.3390/cancers16071317>.
- Wong, J., & Ramli, S. (2021). Antimicrobial activity of different types of *Centella asiatica* extracts against foodborne pathogens and food spoilage microorganisms. *LWT - Food Science and Technology*, 142, 111026. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111026>.
- Xu, B. J., & Chang, S. K. (2007). A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *Journal of food science*, 72(2), S159-S166. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00260.x>.
- Zeng, W., Li, H., Liu, S., Luo, Z., Chen, J., & Zhou, J. (2025). Biosynthesis and bioactivities of triterpenoids from *Centella asiatica*: Challenges and opportunities. *Biotechnology Advances*, 80, Article 108541. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2025.108541>.