NGHIÊN CỨU TÁCH CHIẾT CAFFEINE TỪ HẠT CÀ PHÊ BẰNG PHƯƠNG PHÁP TRÍCH LY DUNG MÔI CÓ HỖ TRỢ VI SÓNG

RESEARCH ON EXTRACTING CAFFEINE FROM COFFEE BEANS USING THE MICROWAVE-ASSISTED SOLVENT EXTRACTION METHOD

Trần Quang Ngọc
Trường ĐH Nha Trang
Email: ngoctq@ntu.edu.vn

Ngày nhận bài: 29/11/2023; Ngày phản biện thông qua: 16/01/2024; Ngày duyệt đăng: 15/05/2024

TÓM TẮT:

Quá trình trích ly caffeine từ hạt cà phê vối (Coffea robusta) được tiến hành với hai dung môi ethyl acetate và nước có hỗ trợ vi sóng. Dung môi nước cho kết quả trích ly tốt hơn, hiệu suất trích ly caffeine đạt 84% chỉ sau thời gian 40 phút. Hạt cà phê sau khi tách caffeine (cà phê decaf) được rang, xay và tiến hành đánh giá cảm quan. Bước đầu cho thấy cà phê decaf có chất lượng khá tốt.

Từ khoá: *Caffeine, Trích ly hỗ trợ vi sóng, Cà phê Decaf*

ABSTRACT:

The process of extracting caffeine from coffee beans was carried out with two solvents: ethyl acetate and water with microwave assistance. Water solvents had better caffeine extraction results, caffeine extraction efficiency reached 84% after 40 minutes. Coffee beans after decaffeination (decaf coffee) were roasted, ground and sensorily evaluated. Initial results showed that decaf coffee was of good quality.

Keyword: *Caffeine, Microwave-assisted extraction, Decaf coffee*

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

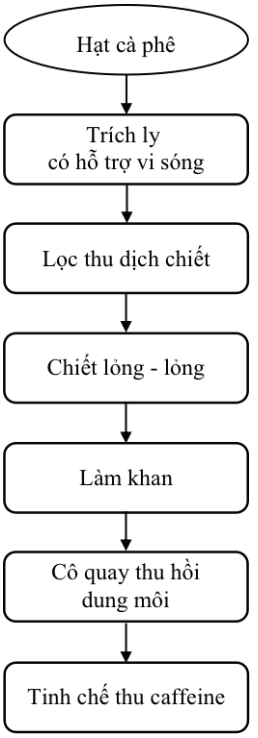
Caffeine trong hạt cà phê chiếm hàm lượng từ 2÷4%, có những tác động sinh lý nhất định đến cơ thể con người. Nó là một chất kích thích nhẹ giúp tạo sự tỉnh táo trong công việc hằng ngày. Trong y học, người ta còn dùng caffeine như chất trợ tim hoặc là thuốc lợi tiểu. Nhưng bên cạnh đó, caffeine cũng có một số tác dụng bất lợi đến với sức khỏe con người như gây mất ngủ, tăng huyết áp, tăng nhịp tim,…[1-4]. Nhằm đa dạng hóa sản phẩm và đáp ứng nhu cầu của một bộ phận người tiêu dùng sử dụng cà phê có hàm lượng caffeine thấp, hiện nay dòng sản phẩm cà phê Decaf đang được chú ý và nhu cầu thị trường ngày càng tăng. Cà phê Decaf có hàm lượng caffeine thấp nhưng vẫn đảm bảo những giá trị dinh dưỡng và hương vị đặc trưng không thay đổi nhiều so với cà phê thông thường [5].

Có 3 phương pháp chính để tách caffeine trong hạt cà phê đã được nghiên cứu và đưa vào sản xuất: *i) Phương pháp trích ly bằng dung môi hữu cơ*, thông thường sử dụng dung môi dichloromethane hoặc ethyl acetate. Phương pháp này có nhược điểm là khó loại bỏ triệt để dung môi còn lại trong sản phẩm [6-8]; *ii) Phương pháp sử dụng CO_2 siêu tới hạn*, đây là phương pháp tiên tiến, phương pháp này giúp giữ được hương vị của cà phê hầu như nguyên vẹn và không để lại những thành phần hóa chất độc hại trong sản phẩm cà phê gây ảnh hưởng đến sức khỏe. Tuy nhiên, chi phí vận hành của phương pháp cao vì việc tạo áp suất cao đòi hỏi máy móc và thiết bị phức tạp [9,10]; *iii) Phương pháp sử dụng dung môi là nước*, phương pháp này được phát minh đầu tiên ở Thụy Sĩ vào năm 1933 và được phát triển như một phương pháp có khả năng thương mại hóa bởi Coffex S.A vào năm 1980. Trích ly caffeine bằng dung môi nước có nhiều ưu điểm như không độc hại, có thể trích ly được tối đa lượng caffeine mà vẫn giữ được hương vị của sản phẩm cà phê. Tuy nhiên, hạn chế của phương pháp này là thời gian trích ly kéo dài, điều kiện trích ly ở nhiệt độ và áp suất cao [11-13]. Phương pháp trích ly hỗ trợ vi sóng (Microwave-assisted extraction - MAE) là phương pháp đã được chứng minh giúp giảm thời gian và tiết kiệm

năng lượng vì vi sóng có tác dụng phá vỡ cấu trúc vách tế bào nguyên liệu làm cho chất tan giải phóng trực tiếp vào dung môi chiết [14]. Vahid Ghasemzadeh-Mohammadi và cộng sự đã nghiên cứu trích ly caffeine từ lá trà xanh bằng phương pháp MAE đạt hiệu suất 86% với thời gian trích ly 8 phút [15].

Trong nghiên cứu này, caffeine được trích ly từ hạt cà phê nhân bằng dung môi nước và ethyl acetate có hỗ trợ vi sóng nhằm rút ngắn thời gian và nâng cao hiệu suất trích ly.

II. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU



Hình 1: Sơ đồ quy trình chiết caffeine từ hạt cà phê nhân.

Hạt cà phê và dung môi được cho vào bình cầu theo tỷ lệ nguyên liệu/dung môi nghiên cứu, đặt trong hệ thống trích ly có hỗ trợ vi sóng (Hình 2) và tiến hành trích ly ở các điều kiện sau:

- Dung môi: Nước và Ethyl acetate
- Tỉ lệ nguyên liệu/dung môi (w/v): 1/15; 1/20; 1/25 và 1/30 (g/ml)
- Công suất của lò vi sóng: 400W; 600W và 800W

1. Vật liệu nghiên cứu

Hạt cà phê vối (*Coffea robusta*) được trồng tại huyện Krôngpăc tỉnh Đắc Lắc. Các hạt cà phê được lựa chọn có kích thước đồng đều, màu xanh tự nhiên, được phơi nắng đạt đến độ ẩm từ 7-10% và được bảo quản ở nơi thoáng mát trong quá trình nghiên cứu.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Quy trình trích ly caffeine từ hạt cà phê nhân

Quy trình trích ly caffeine từ hạt cà phê nhân bằng dung môi nước và ethyl acetate có hỗ trợ vi sóng được mô tả theo sơ đồ Hình 1:

Hình 2: Hệ thống trích ly caffeine bằng dung môi có hỗ trợ vi sóng.

- Thời gian trích ly: 20 phút, 30 phút và 40 phút (thời gian bức xạ là 15 giây, khoảng cách giữa các lần bức xạ là 45 giây).

Sau khi trích ly, caffeine được tách ra khỏi dịch trích ly bằng chiết lỏng – lỏng với dung môi chiết chloroform (nếu trích ly bằng dung môi ethyl acetate thì không cần thực hiện bước này), làm khan nước trong dịch chiết bằng Na_2SO_4, sau đó loại bỏ dung môi chloroform bằng thiết bị cô quay chân không (RV10, IKA,

Đức) ở điều kiện áp suất từ 150÷180 mbar, nhiệt độ 40°C để thu caffeine thô.

Tinh chế caffeine bằng phương pháp kết tinh trong dung môi ethyl acetate: caffeine thô được hòa tan hoàn toàn trong dung môi ethyl acetate ở 50°C. Sau đó dung dịch được làm nguội từ từ để caffeine kết tinh, tiếp đó lọc để thu tinh thể. Cuối cùng, caffeine tinh chế được sấy ở 40°C đến khối lượng không đổi.

Hiệu suất trích ly (H%) được tính như sau:

$$H(\%) = \frac{m}{m_0} \times 100\%$$

Trong đó: *m (g)* là khối lượng caffeine trích ly thu được; m_0 (g) là khối lượng caffeine trong nguyên liệu hạt cà phê và được xác định như sau: hạt cà phê được xay nhỏ và sau đó được trích ly bằng nước cất với tỉ lệ nguyên liệu và dung môi là 1:30 (w/v) trong 9 giờ ở 100°C. Dịch trích ly thu được sau đó được chiết lỏng lỏng với chloroform để tách caffeine và tiếp tục được làm khan bằng Na_2SO_4. Sau đó, dịch chiết caffeine được cô quay chân không để thu caffeine. Cuối cùng mẫu caffeine được sấy 40°Cđến khối lượng không đổi (m_0).

2.2. Phân tích caffeine tinh chế

Caffeine tinh chế được kiểm tra bằng sắc ký lớp mỏng, phổ hồng ngoại và phổ hấp thụ UV-Vis.

Phương pháp sắc ký bản mỏng (TLC):

Dung môi lựa chọn dùng để rửa giải sắc ký bản mỏng là hệ dung môi là ethyl acetate: ethanol 9:1 (v/v) .

Cách tiến hành: Dùng ống mao quản, hút một lượng mẫu rồi chấm lên bản mỏng, khoảng cách của vết chấm lên bờ dưới khoảng 0,5cm, cách bờ hai bên bản mỏng 1cm. Cafffeine được xác định dưới ánh sáng tia cực tím có bước sóng là 254nm và sau đó xác định hệ số di chuyển R_f.

Phương pháp quang phổ hồng ngoại FTIR:

Nghiền mẫu caffeine tinh chế cùng với tinh thể KBr thành bột, nén bột thành mẫu đo ở dạng phim mỏng. Mẫu được đo trên Máy quang phổ hồng ngoại, Bruker Alpha, trong vùng từ 4000 đến 400cm^{-1}.

Phương pháp quang phổ hấp thụ UV-Vis:

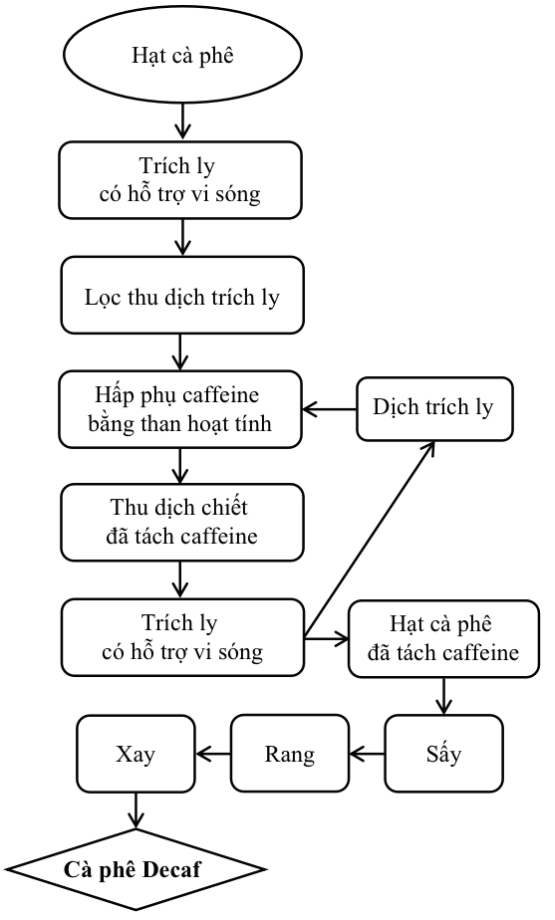
Caffeine tinh chế được hòa tan bằng dung môi chloroform. Phổ hấp thụ UV-Vis của caffeine pha trong chloroform nói trên được ghi trên thiết bị quang phổ tử ngoại khả kiến UV-VIS (Hach DR 6000) trong dải bước sóng 200 – 500 nm, sử dụng cuvet thủy tinh và dung môi chloroform tương ứng làm dung dịch mẫu trắng.

2.3. Quy trình chế biến cà phê Decaf

Cà phê Decaf được chế biến theo quy trình mô tả trong Hình 3:

Bước đầu tiên, thực hiện quá trình trích ly caffeine bằng dung môi có hỗ trợ vi sóng. Dùng than hoạt tính để hấp phụ và tách caffeine ra khỏi dịch trích ly. Dịch trích ly sau khi đã loại bỏ caffeine được dùng như dung môi để thực hiện quá trình trích ly tiếp theo nhằm mục đích giữ lại các thành phần hương vị trong hạt cà phê.

Hạt cà phê sau khi đã tách caffeine được phơi nắng đến độ ẩm khoảng 9÷10%, sau đó được rang ở nhiệt độ 120°C trong khoảng 10 phút, sau đó tăng nhiệt độ lên 220°C và tiếp



Hình 3: Sơ đồ quy trình chế biến cà phê Decaf.

tục rang trong khoảng 5-7 phút. Hạt cà phê sau khi rang được ủ kín khí trong 48 giờ để ổn định hương vị. Sau đó, hạt cà phê được xay nhỏ bằng máy xay cà phê mini để bàn Shardor Model CG845B thu được bột cà phê Decaf.

2.4. Đánh giá cảm quan sản phẩm cà phê Decaf

Đánh giá cảm quan sản phẩm cà phê Decaf tiến hành theo tiêu chuẩn *TCVN 3215–79*, sử dụng hệ 20 điểm dựa trên một thang thống nhất có 6 bậc (từ 0 tới 5) và điểm 5 cao nhất cho mỗi chỉ tiêu. Áp dụng để kiểm tra tất cả các chỉ tiêu cảm quan như màu sắc, mùi và vị của sản phẩm cà phê Decaf. Hội đồng đánh giá cảm quan gồm 5 người, các cảm quan viên đều có khả năng đánh giá cảm quan, có khả năng phân biệt cảm giác, kiến thức phân tích cảm quan và kiến thức chuyên môn tốt. Khi đánh giá mỗi cảm quan viên căn cứ kết quả ghi nhận được, đối chiếu với bản mô tả các chỉ tiêu và dùng số nguyên để cho điểm 0 tới 5. Điểm cảm quan tổng hợp được tính như sau:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} Q_i . K_i$$

Trong đó:

- Q_i là điểm trung bình của chỉ tiêu i
- K_i là hệ số quan trọng của chỉ tiêu thứ i

Bảng 1: Các mức chất lượng đánh giá cảm quan

Mức	Điểm
Tốt	18,6 – 20,0
Khá	15,2 – 18,5
Trung bình	11,2 – 15,1
Kém	7,2 – 11,1
Rất kém	4,0 – 7,1
Hỏng	0,0 – 3,9

2.5. Phương pháp xử lý số liệu

Tất cả các thí nghiệm được lặp lại 3 lần, số liệu nghiên cứu được xử lý tính toán và biểu diễn đồ thị bằng phần mềm MS Excel 2010.

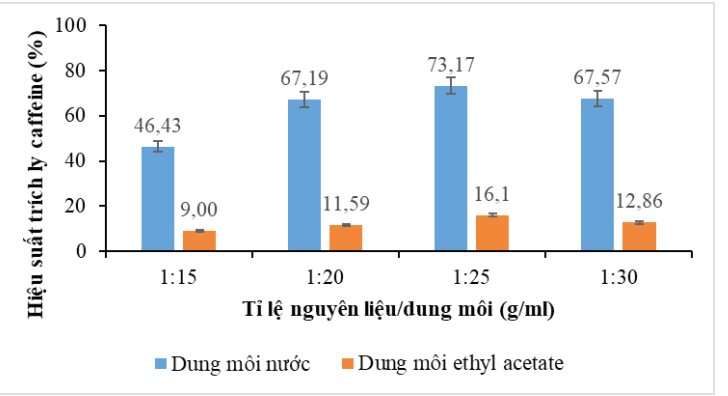
III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

1. Kết quả trích ly caffeine từ hạt cà phê

1.1. Ảnh hưởng của tỉ lệ nguyên liệu/dung môi đến hiệu suất trích ly cafeine

Để khảo sát ảnh hưởng của tỉ lệ nguyên liệu/dung môi (w/v) đến hiệu suất trích ly cafeine, các quá trình trích ly được thực hiện ở điều kiện cố định các thông số: công suất của lò vi sóng là 800W và thời gian trích ly là 30 phút. Dung môi trích ly được sử dụng là nước và ethyl acetate. Kết quả được thể hiện ở Hình 4.

Kết quả thu được cho thấy khi trích ly bằng dung môi nước thì hiệu suất trích ly cao hơn nhiều (khoảng 5 lần) so với dung môi ethyl



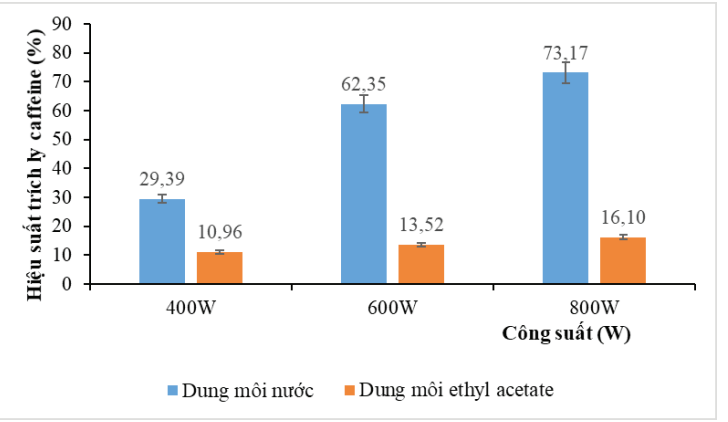
Hình 4: Ảnh hưởng của tỉ lệ nguyên liệu và dung môi đến hiệu suất trích ly caffeine.

acetate. Kết quả này có thể được giải thích là do độ hòa tan của caffeine trong nước nóng tốt hơn trong dung môi ethyl acetate. Kết quả này phù hợp với kết quả nghiên cứu được công bố bởi Ramalakshmi và cộng sự [16]. Tuy nhiên thời gian trích ly được rút ngắn rất nhiều so với kết quả của nhóm nghiên cứu trên (30 phút so với 14-16 giờ). Mặt khác, khi tăng tỉ lệ dung môi/nguyên liệu thì hiệu suất trích ly cafeine tăng. Ở tỉ lệ nguyên liệu/dung môi là 1:25 cho hiệu suất trích ly cafeine cao nhất. Đối với dung môi trích ly là nước có hiệu suất trích ly caffeine là 73,17% và dung môi trích ly là ethyl acetate có hiệu suất trích ly caffeine là 16,10%.

Vì vậy, tỉ lệ nguyên liệu/dung môi 1:25 được chọn để khảo sát ảnh hưởng của các yếu tố tiếp theo đến hiệu suất trích ly caffeine.

1.2. Ảnh hưởng của công suất lò vi sóng đến hiệu suất trích ly cafeine

Để khảo sát ảnh hưởng của công suất lò vi sóng đến hiệu suất trích ly, các quá trình trích ly được thực hiện cố định ở các thông số: tỉ lệ nguyên liệu/dung môi là 1:25 (g/ml) và thời gian trích ly là 30 phút. Dung môi trích ly được sử dụng là nước và ethyl acetate. Kết quả được thể hiện ở Hình 5.



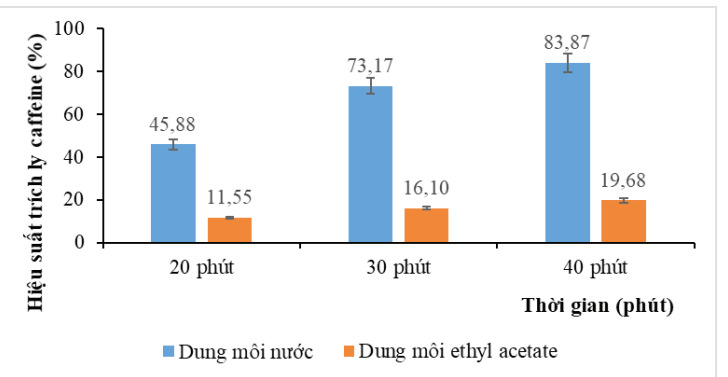
Hình 5: Ảnh hưởng của công suất lò vi sóng đến hiệu suất trích ly caffeine.

Kết quả thu được cho thấy khi công suất của lò vi sóng tăng thì hiệu suất trích ly caffeine cũng tăng đối với cả hai trường hợp trích ly bằng dung môi nước và dung môi ethyl acetate. Khi công suất của lò vi sóng tăng thì khả năng phá vỡ các liên kết trong nguyên liệu tăng, làm cho quá trình khuếch tán của dung môi vào trong nguyên liệu dễ dàng hơn. Do đó, hiệu suất trích ly caffeine tăng. Ở công suất của lò vi sóng là 800W cho hiệu suất trích ly caffeine là cao nhất. Đối với dung môi trích ly là nước có hiệu suất trích ly cafeine là 73,17% và dung môi trích ly là ethyl acetate có hiệu suất trích ly cafeine là 16,10%. Ở công suất cao hơn 800W có thể làm tăng hiệu suất trích ly. Tuy nhiên, ở công suất cao thì nhiệt độ tăng mạnh, điều này có thể dẫn đến sự phân hủy các hợp chất có giá trị trong nguyên liệu. Vì vậy, công suất 800W là phù hợp cho các nghiên cứu tiếp theo.

1.3. Ảnh hưởng của thời gian trích ly đến hiệu suất trích ly cafeine

Để khảo sát ảnh hưởng của thời gian trích ly đến hiệu suất trích ly, các quá trình trích ly được thực hiện cố định ở các thông số: tỉ lệ nguyên liệu/dung môi là 1:25 (g/ml) và công suất của lò vi sóng là 800W. Dung môi trích ly được sử dụng là nước và ethyl acetate. Kết quả được thể hiện ở Hình 6.

Khi tăng thời gian trích ly thì hiệu suất trích ly caffeine tăng. Ở thời gian trích ly là 40 phút



Hình 6: Ảnh hưởng của thời gian đến hiệu suất trích ly caffeine.

cho hiệu suất trích ly cafein cao nhất. Đối với dung môi trích ly là nước có hiệu suất trích ly cafeine là 83,87% và dung môi trích ly là ethyl acetate có hiệu suất trích ly cafeine là 19,68%. Tuy nhiên không thể kéo dài thời gian trích ly vì khi đó nhiệt độ tăng quá cao sẽ ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm cà phê Decaf. Vì vậy thời gian trích ly 40 phút là phù hợp.

Từ các kết quả thu được cho phép xác định điều kiện thích hợp để trích ly caffeine từ hạt cà phê nhân bằng dung môi có hỗ trợ vi sóng như sau: tỉ lệ nguyên liệu/dung môi 1/25 (w/v); công suất vi sóng 800W; thời gian trích ly 40 phút và dung môi trích ly là nước.

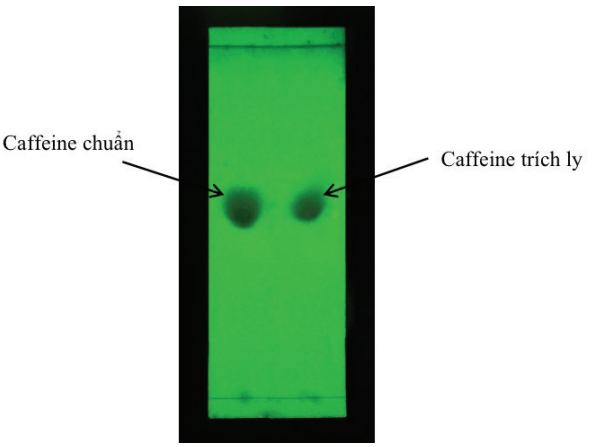
2. Phân tích caffeine tinh chế

Caffeine thu được sau quá trình trích ly và tinh chế đã được phân tích đối chứng so với mẫu caffeine chuẩn (Độ tinh khiết > 99%, *Himedia,* Ấn Độ).

2.1. Phương pháp sắc ký lớp mỏng (TLC)

Sử dụng hệ dung môi là ethyl acetate/ethanol tỉ lệ 9/1 (v/v). Kết quả phân tích sắc ký lớp mỏng của caffeine được thể hiện ở Hình 7.

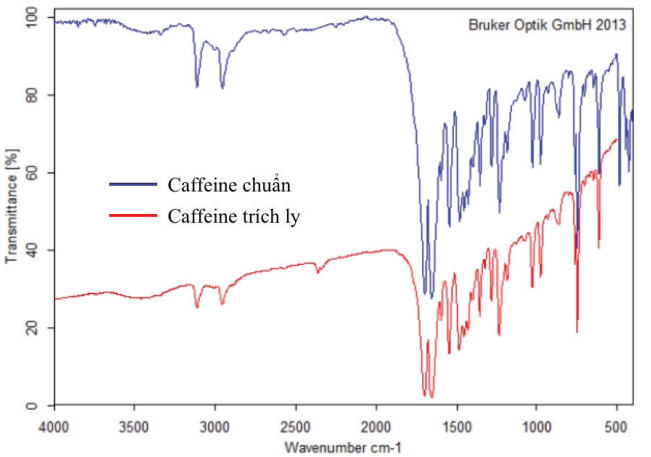
Caffeine được phát hiện dưới ánh sáng tia cực tím có bước sóng là 254 nm. Kết quả phân tích cho thấy rằng, mẫu caffeine trích ly và mẫu caffeine chuẩn đều có giá trị hệ số di chuyển R_f = 0,51. Ngoài ra, mẫu caffeine trích ly chỉ hiển thị một vết trên bản mỏng silicagel. Kết quả này có thể cho phép nhận định bước đầu mẫu caffeine trích ly không có lẫn tạp chất và có độ tinh khiết cao.



Hình 7: Sắc ký bản mỏng của caffeine trích ly và caffeine chuẩn.

2.2. Phương pháp quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FT-IR)

Kết quả phân tích mẫu caffeine trích ly bằng phổ hồng ngoại được thể hiện ở Hình 8.



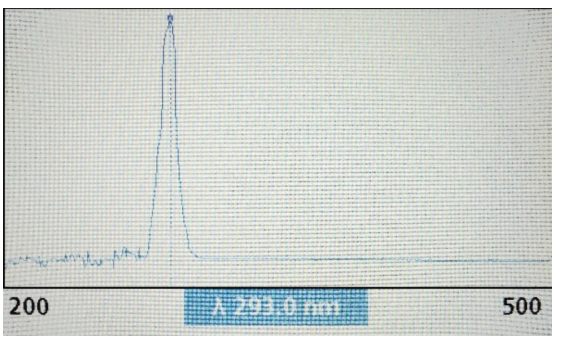
Hình 8: Phổ hồng ngoại FTIR của mẫu caffeine chuẩn và caffeine trích ly.

Kết quả cho thấy phổ hồng ngoại FTIR của caffeine trích ly hoàn toàn tương thích với phổ hồng ngoại của caffeine chuẩn. Trên phổ hồng ngoại xuất hiện các peak hấp thụ ở 2995cm^{-1} đặc trưng cho dao động hóa trị của liên kết C-H trong nhóm N-CH_3, 3114 cm^{-1} đặc trưng cho dao động hóa trị của liên kết C-H trong nhóm =CH-, 1656 cm^{-1} đặc trưng cho dao động hóa trị của liên kết C=O trong nhóm carbonyl liên kết với hai nguyên tử nitơ, 1634 cm^{-1} đặc trưng cho dao động hóa trị của liên kết C=O trong nhóm carbonyl liên kết với một nguyên tử nitơ và 1543 cm^{-1} đặc trưng cho dao động hóa trị của liên kết C=N [17].

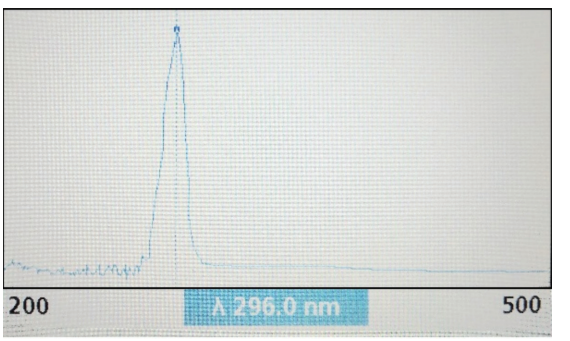
2.3. Phương pháp quang phổ hấp thụ UV-Vis

Kết quả quang phổ hấp thụ UV-Vis của mẫu caffeine trích ly và mẫu caffeine chuẩn được lần lượt thể hiện ở Hình 9 và Hình 10.

Kết quả phân tích cho thấy phổ hấp thụ của caffeine trích ly có cực đại hấp thu ở bước sóng λ_{max} = 293nm và phổ hấp thụ của caffeine chuẩn ở bước sóng λ_{max} = 296nm. Kết quả trên đã cho thấy phổ hấp thụ của caffeine trích ly tương đồng với phổ hấp thụ của caffeine chuẩn.



Hình 9: Phổ UV-Vis của caffeine trích ly.



Hình 10: Phổ UV-Vis của caffeine chuẩn.

3. Chế biến thử nghiệm cà phê Decaf

3.1. Quá trình tách caffeine ra khỏi hạt cà phê

Hạt cà phê và nước cất được cho vào bình cầu đặt trong hệ thống trích ly có hỗ trợ vi sóng. Thực hiện trích ly caffeine từ hạt cà phê trong 40 phút ở công suất của lò vi sóng là 800W với tỉ lệ nguyên liệu/dung môi là 1:25 (g/ml). Sau khi trích ly, dịch trích ly được lắc với than hoạt tính trong 30 phút để hấp phụ caffeine. Sau đó tiếp tục lọc thu dịch thì ta được một dung dịch chỉ chứa thành phần hương liệu của cà phê mà không còn chứa caffeine. Dịch trích ly nói trên được tiếp tục cho vào bình cầu đặt trong hệ thống trích ly có hỗ trợ vi sóng để trích ly caffeine từ một mẻ cà phê mới. Lúc này, dịch trích ly đã được bão hòa với các thành phần hương vị của mẻ cà phê đầu tiên nên hương vị trong mẻ cà phê mới sẽ không bị hòa tan mà chỉ có thành phần caffeine trong hạt cà phê sẽ bị trích xuất ra dịch trích ly. Kết thúc quá trình,

Hình 11: Hạt cà phê chưa tách caffeine.

Hình 12: Hạt cà phê *đã* tách caffeine.

hạt cà phê vẫn đảm bảo được thành phần hương vị của nó. Thu hạt cà phê đã tách caffeine và phơi nắng để làm khô đến độ ẩm 10%, ta được nguyên liệu hạt cà phê Decaf.

Đánh giá và so sánh hai mẫu nguyên liệu của hạt cà phê đã tách caffeine và hạt cà phê chưa tách caffeine có đặc điểm tương đương nhau (Hình 11 và Hình 12). Tuy hạt cà phê đã tách caffeine có màu đậm hơn hạt cà phê chưa tách caffeine nhưng kích thước và mùi hương tương đương hạt cà phê chưa tách caffeine.

3.2. Quá trình rang xay

Bột cà phê Decaf (Hình 13) có màu sắc và hương thơm đặc trưng như bột cà phê thông thường.

Hình 13: Bột cà phê Decaf.

3.3. Đánh giá cảm quan sản phẩm cà phê Decaf

Cho khoảng 20g bột cà phê Decaf vào phin cà phê, tiếp tục cho 20 ml nước sôi lên cà phê và đợi 30 giây cho cà phê nở đều. Sau khi cà phê đã nở đều, cho tiếp 40ml nước sôi vào. Chờ cà phê rơi xuống đến khi hết nước. Ta được sản phẩm cà phê Decaf và tiến hành đánh giá cảm quan sản phẩm. Kết quả đánh giá cảm quan được thể hiện ở Bảng 2.

Từ kết quả của Bảng 2 cho thấy kết quả đánh giá cảm quan của cà phê Decaf và cà phê thông thường có giá trị tương đương nhau. Cà phê Decaf có màu nâu cánh gián đậm, trong và sánh; có mùi thơm đặc trưng của sản phẩm cà phê nguyên chất, có cả vị đắng ít và chua của sản phẩm cà phê nguyên chất.

IV. KẾT LUẬN

Trích ly caffeine từ hạt cà phê nhân bằng phương pháp trích ly sử dụng dung môi có hỗ trợ vi sóng cho hiệu quả khá tốt. Với dung môi trích ly là nước thân thiện với môi trường và an toàn trong thực phẩm, hiệu suất trích ly có thể đạt đến gần 84%, đặc biệt thời gian trích ly được rút ngắn chỉ còn 40 phút. Hạt cà phê Decaf thu được sau quá trình trích ly được chế biến thành sản phẩm cà phê rang xay có chất lượng khá, tương đương với cà phê thường chưa tách caffeine.

Bảng 2: Kết quả đánh giá cảm quan sản phẩm cà phê Decaf

Chỉ tiêu	Cà phê Decaf	Cà phê thông thường
Màu (HSTL* = 0,7)	4,6	4,8
Mùi (HSTL = 1,3)	4,2	4,4
Vị (HSTL = 2,0)	3,6	3,8
Tổng điểm	15,88	16,68
Xếp loại	Khá	Khá

**: hệ số quan trọng*

Tài liệu tham khảo

1. Ganio, Matthew S; Klau, Jennifer F; Casa, Douglas J; Armstrong, Lawrence E; Maresh, Carl M, "Effect of Caffeine on Sport-Specific Endurance Performance: A Systematic Review", *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol 23(1), 2009, 315-324
2. Terry R. Hartley, Bong Hee Sung, Gwendolyn A. Pincomb, Thomas L. Whitsett, Michael F. Wilson and William R. Lovallo, "Hypertension Risk Status and Effect of Caffeine on Blood Pressure", *Hypertension*, Vol 36, 2000, 137–141
3. Peter J. Green, Robert Kirby & Jerry Suls, "The effects of caffeine on blood pressure and heart rate: A

review, *Annals of Behavioral Medicine*, Vol 18, 1996, 201-216

4. Julian Koenig, Marc N. Jarczok, Wolfgang Kuhn, Katharina Morsch, Alexander Schäfer, Thomas K. Hillecke, and Julian F. Thayer, "Impact of Caffeine on Heart Rate Variability: A Systematic Review", *Journal of Caffeine Research,* Vol 3(1), 2013, 22-37
5. Nurheni Sri Palupi, "The role of decaffeinated coffee in reducing the risk of hypertension: a systematic review", *J. Functional Food & Nutraceutical,* Vol 2(2), 2021, 99-116
6. Nancy Cordoba, Mario Fernandez-Alduenda, Fabian L.Moreno, Yolanda. Ruiz, "Coffee extraction: A review of parameters and their influence on the physicochemical characteristics and flavour of coffee brews", *Trends in Food Science & Technology*, Vol 96, 2020, 45-60
7. Indrali Sarpotdar, Arockia Dixon, Devesh Sane, Ashwini Thokal, "Caffeine extraction from coffee", *JETIR*, Vol 8(6), 2021, 364-369
8. Bambang Soeswanto, Rony Pasonang Sihombing, Joko Suryadi, Tri Hariyadi, Tifa Paramitha, Yusmardhany Yusuf, Alfiana Adhitasari, "The Effect of Solvent to Coffee Ratio on Caffeine Content in Ethyl Acetate Extracts of Arabica Gayo Coffee Beans", *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, Vol 9(3), 2023, 224-231
9. Iolanda De Marco, Stefano Riemma, Raffaele Lannone, "Life cycle assessment of supercritical CO_2 extraction of caffeine from coffee beans", *The Journal of Supercritical Fluids*, Vol 133, 2018, 393-400
10. Hulya Peker, M. P. Srinivasan, J. M. Smith, Ben J. McCoy, "Caffeine extraction rates from coffee beans with supercritical carbon dioxide", *AIChE Journal*, Vol 38(5), 1992, 761-770
11. Grażyna Budryn, Ewa Nebesny, Anna Podsędek, Dorota Żyżelewicz, Małgorzata Materska, Stefan Jankowski & Bogdan Janda, "Effect of different extraction methods on the recovery of chlorogenic acids, caffeine and Maillard reaction products in coffee beans", *European Food Research and Technology*, Vol 228, 2009, 913-922
12. Siti Machmudah, Kiwa Kitada, Mitsuru Sasaki, Motonobu Goto, Jun Munemasa, Masahiro Yamagata, "Simultaneous Extraction and Separation Process for Coffee Beans with Supercritical CO_2 and Water", *Ind. Eng. Chem. Res.,* Vol 50(4), 2011, 2227–2235
13. Kasahun Wale , Bealu Girma, "An Overview of Techniques for Extracting Caffeine from Coffee for Quantification, *American Journal of Chemical and Biochemical Engineering*, Vol 7(2), 2023, 15-19
14. Xuejun Pan, Guoguang Niu, Huizhou Liu, Microwave-assisted extraction of tea polyphenols and tea caffeine from green tea leaves, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, Vol 42(2), 2003, 129-133
15. Vahid Ghasemzadeh-mohammadi, Bahman Zamani, Maryam Afsharpour, Abdorreza Mohammadi, Extraction of caffeine and catechins using microwave-assisted and ultrasonic extraction from green tea leaves: an optimization study by the IV-optimal design, *Food Sci Biotechnol*., Vol 26(5), 2017 1281–1290
16. K. Ramalakshmi and B. Raghavan, "Caffeine in Coffee: Its Removal. Why and How?", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition,* Vol 39(5), 1999, 441–456
17. Manish M. Paradkar, Joseph Irudayaraj, Rapid determination of caffeine content in soft drinks using FTIR–ATR spectroscopy, Food Chemistry, Vol 78(2), 2002, 261-266