

Bài báo khoa học

Đánh giá thực trạng xử lý dầu vỏ hạt điều tại Việt Nam và đề xuất qui trình công nghệ tích hợp công nghệ IoT sản xuất dầu vỏ hạt điều tinh chế

Trần Thị Thanh Ngọc¹, Hoàng Anh², Văn Thị Thái Thu³, Hồ Thị Thanh Vân^{2*}

¹ Viện Tiên tiến Đào tạo và Nghiên cứu Công nghệ xanh, Trường Đại học Văn Lang;
ngoc.tran1011@gmail.com

² Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM; hanh@hcmunre.edu.vn;
httvan@hcmunre.edu.vn

³ Trường Đại học Sài Gòn; vanthaithuqn@gmail.com

*Tác giả liên hệ: httvan@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84-913603994

Ban Biên tập nhận bài: 8/12/2021; Ngày phản biện xong: 28/3/2022; Ngày đăng bài: 25/4/2022

Tóm tắt: Vỏ hạt điều, từng được xem là rác thải của ngành công nghiệp điều và bị mang đi đốt bỏ trước đây, đang trở thành nguồn nguyên liệu tiềm năng để tạo ra các sản phẩm có giá trị như dầu vỏ hạt điều. Tuy nhiên, phần lớn dầu vỏ hạt điều sản xuất bởi các cơ sở ở Việt Nam hiện nay là dầu thô chưa qua tinh chế nên giá trị thương phẩm chưa cao. Đánh giá thực trạng xử lý dầu vỏ hạt điều qua đó đề xuất công nghệ đơn giản để sản xuất dầu vỏ hạt điều tinh chế là thực sự cần thiết nhằm nâng cao giá trị kinh tế của sản phẩm. Nghiên cứu đề xuất qui trình công nghệ sử dụng phương pháp thủy nhiệt để tinh chế dầu vỏ hạt điều với chất lượng tiềm năng sử dụng làm dầu nhiên liệu (dầu FO). Đồng thời, qui trình có tích hợp với công nghệ IOT nhằm tự động hóa và kiểm soát hiệu quả hướng đến tối ưu hóa quá trình về mặt nguyên liệu và năng lượng, góp phần thực hiện mục tiêu phát triển bền vững.

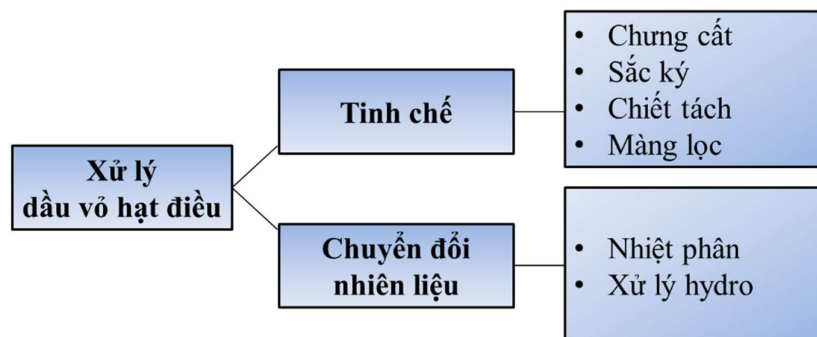
Từ khóa: Dầu vỏ hạt điều; Thực trạng; Công nghệ sản xuất; Tinh chế; Công nghệ IoT.

1. Mở đầu

Dầu vỏ hạt điều, phụ phẩm của ngành công nghiệp hạt điều, được chiết xuất từ vỏ ngoài của hạt điều bằng nhiều phương pháp khác nhau như ép lạnh, chiết dung môi hay các quá trình cơ nhiệt [1]. Dầu vỏ hạt điều, với thành phần giàu hợp chất phenol và các dẫn xuất bao gồm axit anacardic, cardanol, cardol và 2-methyl cardol, là nguồn nguyên liệu tốt để điều chế hydrocacbon và các hợp chất mạch vòng phù hợp với phân đoạn dầu diesel và kerosene [2]. Bên cạnh đó, dầu vỏ hạt điều được đánh giá là nguồn cung cấp cardanol để tạo sơn phủ chống ăn mòn, sơn chống gỉ, keo dán, cao su biến tính, các chế phẩm bảo quản lâm sản... [3–5]. Do đó, thay vì đốt bỏ như trước đây, vỏ hạt điều ngày càng được nhiều cơ sở sản xuất tận dụng để khai thác dầu vỏ hạt điều. Tuy nhiên, để có thể trở thành nguồn nguyên liệu cho các ứng dụng nói trên, dầu vỏ hạt điều sau khi chiết xuất cần phải được xử lý nhằm làm giàu thành phần có giá trị trong dầu.

Nhiều nghiên cứu và phát minh trên thế giới về công nghệ xử lý dầu vỏ hạt điều đã được ghi nhận theo hai hướng xử lý (Hình 1): i) tinh chế dầu [6–9] và ii) chuyển đổi nhiên liệu [2, 10–12]. Trong đó, các kỹ thuật tinh chế bao gồm chưng cất, chiết tách, sắc ký hay kỹ thuật màng với mục đích thu hồi cardanol sử dụng cho các ngành công nghiệp sơn, hóa chất... và các kỹ thuật chuyển đổi nhiên liệu bao gồm nhiệt phân hay xử lý hydro nhằm sản xuất dầu nhiên liệu từ dầu vỏ hạt điều. Việc lựa chọn hướng xử lý, kỹ thuật hay sự kết hợp của các kỹ

thuật phù hợp ứng với hướng ứng dụng của dầu cũng như qui mô xử lý là quan trọng để đạt được sản phẩm có chất lượng mong muốn với hiệu suất cao, chi phí thấp, thân thiện với môi trường.



Hình 1. Các công nghệ xử lý dầu vỏ hạt điều thô.

2. Thực trạng xử lý dầu vỏ hạt điều tại Việt Nam

Việt Nam là một trong những nước xuất khẩu nhân điều hàng đầu trên thế giới với sản lượng xuất khẩu năm 2020 đạt hơn 500.000 tấn theo báo cáo của Hiệp hội Điều Việt Nam. Thông thường từ một tấn hạt điều ta thu được 220 kg nhân điều và 80–200 kg dầu vỏ hạt điều tùy theo công nghệ [13]. Theo đó, với sản lượng sản xuất nhân điều như hiện tại, tiềm năng khai thác dầu vỏ hạt điều ở Việt Nam là rất lớn, ước tính có thể đạt hơn 500.000 tấn mỗi năm. Hiện nay, Việt Nam xuất khẩu hàng năm lên đến 150.000 tấn dầu vỏ hạt điều trên thế giới, trong đó Đồng Nai chiếm khoảng 60% tỷ trọng. Tuy nhiên, dầu vỏ hạt điều của Việt Nam xuất khẩu cho các thị trường lớn như Trung Quốc, Hàn Quốc chủ yếu là dầu thô, chưa qua tinh chế hoặc chỉ là dầu được xử lý sơ bộ sử dụng các quá trình cơ học như lắng, lọc. Một số cơ sở sản xuất dầu vỏ hạt điều tại Đồng Nai, Bình Phước đã bắt đầu áp dụng các quy trình xử lý sâu dầu sau khi chiết tách từ vỏ nhằm thu dầu cardanol có giá trị kinh tế cao hơn. Kỹ thuật xử lý được hầu hết các cơ sở này lựa chọn là chưng cất chân không với quy trình công nghệ về cơ bản gồm các bước như trong Hình 2. Cụ thể, vỏ hạt điều đầu tiên sẽ đi qua máy ép để lấy dầu thô. Dầu thô sau khi ép sẽ được đưa qua bồn lọc để loại bỏ cặn và đưa vào lò phản ứng để tách nước. Cuối cùng, dầu được đưa vào tháp chưng cất chân không để thu được dầu vỏ hạt điều tinh chế (dầu giàu cardanol).



Hình 2. Quy trình xử lý dầu vỏ hạt điều tại các cơ sở sản xuất ở Việt Nam.

Quy trình xử lý này là quy trình xử lý dầu truyền thống với hiệu suất trung bình. Ngoài ra, đối với dầu vỏ hạt điều, đây chỉ là các quá trình mà cơ sở sản xuất tự trang bị, chưa qua thực hiện nghiên cứu khoa học hoàn chỉnh để tối ưu hóa các thông số công nghệ. Mặt khác, về phía khoa học, các nghiên cứu tinh chế dầu vỏ hạt điều ở Việt Nam vẫn còn rất hạn chế và các kết quả nghiên cứu chưa được triển khai ở qui mô công nghiệp. Hầu hết các nghiên

cứu trong nước tập trung nhiều hơn vào khía cạnh ứng dụng dầu vỏ hạt điều [4, 5, 13]. Một trong số ít những nghiên cứu liên quan là của nhóm nghiên cứu PGS. TS. Phạm Thế Trinh hoàn thiện công nghệ chiết tách và tinh chế dầu vỏ hạt điều sử dụng dung môi thông qua việc thực hiện đề tài "Nghiên cứu công nghệ chiết tách cardanol từ dầu vỏ hạt điều và ứng dụng để sản xuất sơn tàu biển và vật liệu kết dính chất lượng cao" vào năm 2009 [14]. Gần đây nhất, đầu năm 2021, Phòng Thí nghiệm trọng điểm Công nghệ lọc, hóa dầu đã đề xuất đề tài "Nghiên cứu công nghệ và thiết bị chế biến sâu dầu vỏ hạt điều thành các sản phẩm có giá trị gia tăng cao, đạt tiêu chuẩn xuất khẩu" đến Bộ Công thương nhằm nghiên cứu quy trình công nghệ tinh chế sâu dầu vỏ hạt điều, bằng phương pháp phản ứng decarboxyl hóa sử dụng xúc tác dị thể kết hợp chưng cất [15].

Với thực trạng nghiên cứu và áp dụng công nghệ xử lý, tinh chế dầu vỏ hạt điều trong nước còn truyền thống và sơ khởi như trên, việc tiến hành nghiên cứu các công nghệ hiện đại có khả năng triển khai cho các cơ sở sản xuất và chế biến dầu vỏ hạt điều nhằm mở rộng ứng dụng là thật sự cần thiết.

3. Đề xuất quy trình công nghệ sản xuất dầu vỏ hạt điều tinh chế ứng dụng làm dầu nhiên liệu

3.1. Lựa chọn công nghệ sản xuất dầu nhiên liệu

Như đã đề cập ở trên, một trong các ứng dụng tiềm năng của dầu vỏ hạt điều là dùng để sản xuất nhiên liệu, góp phần bảo đảm an ninh năng lượng trong tình trạng nhiên liệu hóa thạch ngày càng cạn kiệt. Dầu vỏ hạt điều thô, về nguyên tắc chỉ cần tách nước và axit là có thể sử dụng làm nhiên liệu đốt. Thực tế hiện nay một số nơi trong nước đã sử dụng dầu vỏ hạt điều làm nhiên liệu đốt lò hơi thay cho dầu FO do giá thành rẻ hơn và nhiệt lượng cung cấp khá cao. Tuy nhiên, việc dùng để đốt trực tiếp dầu mà chưa qua xử lý sâu là không thích hợp do độ nhớt của dầu còn cao ảnh hưởng đến quá trình cháy và nhiệt lượng cung cấp khó đạt tối ưu. Ngoài ra, dễ tạo cặn, gây ăn mòn thiết bị. Do đó, dầu vỏ hạt điều sử dụng làm nhiên liệu đốt cần phải được xử lý sâu hơn. Với định hướng xử lý dầu vỏ hạt điều ứng dụng làm dầu nhiên liệu (dầu FO), trong nghiên cứu này, các kỹ thuật chuyển đổi nhiên liệu được xem xét, so sánh dựa trên các tiêu chí về điều kiện công nghệ, đặc tính hóa lý của sản phẩm, hiệu suất để lựa chọn công nghệ phù hợp (Bảng 1). Nghiên cứu cũng tiến hành so sánh các kỹ thuật chuyển đổi nhiên liệu với kỹ thuật chưng cất thu hồi cardanol trong trường hợp ứng dụng cardanol làm nhiên liệu. Việc so sánh được thực hiện thông qua tổng hợp từ các nghiên cứu riêng lẻ.

Bảng 1. So sánh các công nghệ chuyển đổi dầu vỏ hạt điều thành nhiên liệu [16].

Phương pháp	Nhiệt phân [12]	Xử lý hydro (Hydro hóa) [2]	Chưng cất [17]
Tác chất	Dầu	Dầu + H ₂ + xúc tác	Dầu
Điều kiện tiến hành	Nhiệt độ cao (400–600 °C), không O ₂	Áp suất, nhiệt độ cao (250–350 °C)	Áp suất chân không, nhiệt độ (~280 °C)
Sản phẩm	Phenol, ester, hydrocacbon	Hydrocacbon (thành phần hóa học giống với dầu diesel)	Chủ yếu là cardanol
Hiệu suất	Cao	Cao (lên đến 98%)	Trung bình (60–75%)
Độ bền nhiệt	Thấp hơn	Cao hơn	Thấp hơn
Độ bền oxy hóa	Thấp hơn	Cao hơn	Thấp hơn

Có thể thấy, kỹ thuật xử lý hydro thông qua hydro hóa với điều kiện tiến hành không quá khó khăn so với các kỹ thuật khác nhưng lại tạo ra sản phẩm có thành phần giống với dầu nhiên liệu nhất với hiệu suất rất cao. Bên cạnh đó, dầu vỏ hạt điều chứa một lượng lớn oxy do thành phần phenolic của nó, dẫn đến sự mất ổn định nhiệt và hóa học. Hơn nữa, sự hiện diện của các hợp chất oxy hóa trong nhiên liệu dẫn đến tính chất hút ẩm, do đó thúc đẩy sự gia tăng của vi sinh vật trong các bể chứa, dẫn đến quá trình oxy hóa và polyme hóa nhiên liệu. Đồng thời, sự hiện diện của một hàm lượng cao các hợp chất thơm trong thành phần nhiên liệu có thể gây ra các vấn đề trong quá trình đốt cháy do hình thành muội than [2]. Vì vậy, kỹ thuật xử lý hydro sử dụng quá trình hydro hóa để khử oxy và chuyển hóa chất thơm thành xycloparafin chiếm ưu thế hơn so với các công nghệ khác trong việc tạo ra sản phẩm nhiên liệu có độ bền nhiệt và oxi hóa cao.

Việc lựa chọn chất xúc tác được sử dụng trong quá trình hydro hóa là rất quan trọng vì chúng ảnh hưởng đến tốc độ phản ứng và điều kiện thực hiện quá trình. Nhiều chất xúc tác đã được thử nghiệm cho phản ứng khử oxy và hydro hóa, trong đó vật liệu dựa trên các kim loại quý như Ru, Rh, Pd và Pt là hiệu quả nhất [2, 18]. Tuy nhiên, xúc tác kim loại riêng lẻ không có tính ổn định nhiệt cao, dễ dàng kết tụ để giảm diện tích bề mặt dẫn đến mất hoạt tính. Do đó, chất xúc tác dị thể với hai vị trí hoạt động khác nhau cụ thể là kim loại và chất mang được khuyến khích sử dụng trong quá trình xử lý hydro vì chúng có thể kiểm soát các phản ứng hydro hóa [18]. Nghiên cứu của Scaldaferrri và Pasa đã cho thấy phản ứng chuyển hóa dầu vỏ hạt điều thành dầu nhiên liệu với sự tham gia của xúc tác Palladium trên than hoạt tính (Pd/C) có thể đạt hiệu suất lên đến 98% ở điều kiện phản ứng tương đối ôn hòa so với các xúc tác khác [2].

Với những đánh giá như trên, nghiên cứu đề xuất chọn công nghệ hydro hóa sử dụng xúc tác dị thể Pd/C để sản xuất dầu nhiên liệu từ dầu vỏ hạt điều xuất xứ Việt Nam. Với những ưu điểm nổi trội bao gồm (i) Đơn giản, dễ tiến hành, (ii) Điều kiện tiến hành ôn hòa, (iii) Hiệu suất chuyển đổi cao, (iv) Sản phẩm thu được có độ bền nhiệt hóa cao, công nghệ này là hoàn toàn phù hợp và khả thi để xử lý sâu dầu vỏ hạt điều thành sản phẩm nhiên liệu có giá trị không chỉ ở quy mô phòng thí nghiệm mà còn ở quy mô công nghiệp.

3.2. Đề xuất quy trình công nghệ sản xuất dầu vỏ hạt điều ứng dụng làm dầu nhiên liệu từ vỏ hạt điều phụ phẩm có tích hợp công nghệ IoT

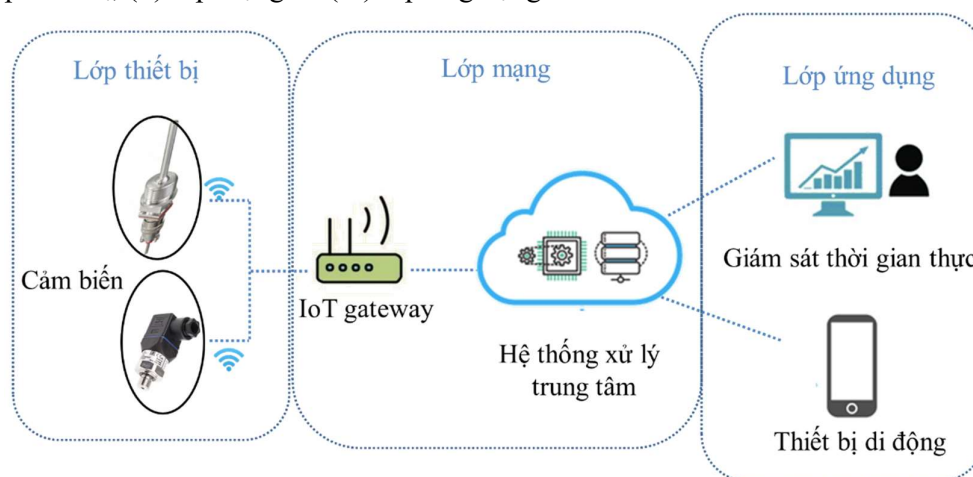
Từ việc lựa chọn công nghệ hydro hóa để xử lý sâu dầu vỏ hạt điều, quy trình công nghệ sản xuất dầu vỏ hạt điều ứng dụng làm dầu nhiên liệu từ vỏ hạt điều phụ phẩm được đề xuất như trong hình 3. Vỏ hạt điều sau khi nghiền nhỏ sẽ được cho qua máy ép trục vít để ép lấy dầu vỏ hạt điều thô. Tiếp đó, dầu thô được cho qua thiết bị lọc để lọc bỏ cặn. Dầu đã lọc cặn sẽ được cho vào thiết bị phản ứng để tiến hành quá trình xử lý hydro (hydro hóa và cracking) có sự hiện diện của xúc tác Pd/C. Dầu sau khi xử lý hydro được ly tâm để tách xúc tác và thu được dầu nhiên liệu.

Đối với quá trình sản xuất, sự thay đổi về chất lượng hoặc năng suất 1–2% có thể tạo ra lợi ích đáng kể thông qua tiết kiệm năng lượng, giảm chất thải, giảm thời gian sản xuất, cải thiện an toàn và giảm tác động đến môi trường. Để tận dụng được những lợi ích này, việc tích hợp công nghệ IoT (*Internet of Things*) là cần thiết. Thay vì ghi nhận và kiểm soát các thông số quá trình thủ công như trước, dữ liệu sẽ được ghi nhận tự động và liên tục sử dụng các thiết bị thông minh. Những thiết bị này có khả năng được nối mạng với nhau, cho phép một vị trí trung tâm thu thập và tổng hợp dữ liệu [19]. Những thiết bị này không những cung cấp thông tin về quá trình hoạt động mà còn có thể dự báo trước một thời gian dài các lỗi hoặc khi nào hệ thống cần được bảo trì. Điều này giúp các nhà quản lý có thể ngăn chặn các sai sót hay lập kế hoạch bảo trì mà vẫn duy trì hệ thống vận hành liên tục. Ngoài ra, việc tích hợp các thiết bị IoT vào các hệ thống điều khiển từ xa cho phép người dùng có thể theo dõi và giám sát tình hình sản xuất nhanh hơn.



Hình 3. Sơ đồ quy trình công nghệ sản xuất dầu vỏ hạt điều tinh chế ứng dụng làm dầu nhiên liệu có tích hợp công nghệ IoT.

Nắm bắt xu thế, nghiên cứu đã đề xuất quy trình xử lý có ứng dụng công nghệ IoT (hình 3) bằng việc lắp đặt các cảm biến thông minh để lấy dữ liệu online qua đó giám sát và điều khiển quá trình xử lý hydro. Cụ thể, 1 cảm biến áp suất (PS) được đặt trước thiết bị phản ứng sau valve cung cấp H_2 , 1 cảm biến nhiệt độ (TS) được đặt bên trong thiết bị phản ứng, 1 cảm biến tỷ trọng độ nhớt (VS) và 1 cảm biến độ ẩm dầu (EE) được đặt sau thiết bị phản ứng để kiểm tra đặc tính của sản phẩm. Các cảm biến này thuộc hệ thống điều khiển tích hợp IoT có kiến trúc được mô tả như trong hình 4 trong đó mô hình kiến trúc IoT đề xuất gồm có 3 lớp: (i) lớp thiết bị, (ii) lớp mạng và (iii) lớp ứng dụng.



Hình 4. Mô hình hệ thống điều khiển ứng dụng công nghệ IoT.

4. Kết luận

Thực trạng xử lý dầu vỏ hạt điều còn nhiều hạn chế hiện nay tại Việt Nam cho thấy sự cấp thiết của việc nghiên cứu các công nghệ xử lý sâu đặc biệt là công nghệ chuyển đổi nhiên liệu nhằm thu được dầu tinh chế góp phần nâng cao giá trị kinh tế của dầu. Thông qua việc so sánh các công nghệ xử lý dầu vỏ hạt điều thành dầu nhiên liệu, công nghệ xử lý hydro sử dụng xúc tác Pd/C được lựa chọn với khả năng cho hiệu suất xử lý cao và chất lượng sản phẩm phù hợp. Ngoài ra, nghiên cứu đã đề xuất quy trình công nghệ xử lý có lắp đặt các thiết

bị đo và kiểm soát online nhằm ứng dụng công nghệ IoT vào sản xuất, góp phần nâng cao hiệu quả, năng suất và tiết kiệm chi phí.

Đóng góp của tác giả: Lên ý tưởng bài báo: T.T.T.N., V.T.T.T., H.T.T.V.; Viết bản thảo bài báo: T.T.T.N.; Chính sửa bài báo: H.A., V.T.T.T., H.T.T.V.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Mgaya, J.; Shombe, G.B.; Masikane, S.C.; Mlowe, S.; Mubofu, E.B.; Revaprasadu, N. Cashew nut shell: a potential bio-resource for the production of bio-sourced chemicals, materials and fuels. *Green Chem.* **2019**, *21*, 1186–1201. doi:10.1039/c8gc02972e.
2. Scaldaferrì, C.A.; Pasa, V.M.D. Green diesel production from upgrading of cashew nut shell liquid. *Renewable Sustainable Energy Rev.* **2019**, *111*, 303–313. doi:10.1016/j.rser.2019.04.057.
3. Balgude, D.; Sabnis, A.S. CNSL: an environment friendly alternative for the modern coating industry. *J. Coat. Technol. Res.* **2013**, *11*(2), 169–183. doi:10.1007/s11998-013-9521-3.
4. Ái, B.V.; Ngọc, N.T.B. Nghiên cứu sử dụng dầu vỏ hạt Điều sau khi Clo hóa làm thuốc bảo quản lâm sản. Kỷ yếu Hội nghị Khoa học Công nghệ Lâm nghiệp miền Bắc năm 2009, 2009, 539–547.
5. Nghiep, P.Q.; Phung, L.T.K.; Kien, L.A. Research on extracting cardanol from cashew nut shell by supercritical method applied as corrosive agent for carbon steel. *Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, Số đặc san Viện Hóa học–Vật liệu*, **2020**, 149–154.
6. Sanjeeva, S.K.; Pinto, M.P.; Narayanan, M.M.; Kini, G.M.; Nair, C.P.; SubbaRao, P.V.; Pullela, P.K.; Ramamoorthy, S.; Barrow, C.J. Distilled technical cashew nut shell liquid (DT–CNSL) as an effective biofuel and additive to stabilize triglyceride biofuels in diesel. *Renewable Energy* **2014**, *71*, 81–88.
7. Kumar, P.P.; Paramashivappa, R.; Vithayathil, P.J.; Subba Rao, P.V.; Rao, A.S. Process for Isolation of Cardanol from Technical Cashew (*Anacardium occidentale* L.) Nut Shell Liquid. *J. Agric. Food Chem.* **2002**, *50*, 4705–4708.
8. Heymann, J.; Kruse, D.; Kreis, P.; Schnitzer, C.; Koleva, V.; Nissen, F.; Boeck, F. Membrane-based processes for purification of cashew nut shell liquid. EP patent 3 **2017**, pp. 252.
9. Filho, F.O.; Zocolo, G.J.; Canuto, K.M.; Silva Junior, I.J.; Brito, E.S. D. Productivity of a preparative high-performance liquid chromatography isolation of anacardic acids from cashew nut shell liquid. *Sep. Sci. Plus.* **2019**, *2*(6), 192–199. doi:10.1002/sscp.201900014.
10. Pandian, A.K.; Munuswamy, D.B.; Radhakrishnan, S.; Devarajan, Y.; Ramakrishnan, R.B.B.; Nagappan, B. Emission and performance analysis of a diesel engine burning cashew nut shell oil bio diesel mixed with hexanol. *Petro. Sci.* **2018**, *15*, 176–184.
11. Raghavendra Prasada S.A. A Review on CNSL Biodiesel as an Alternative fuel for Diesel Engine. *Int. J. Sci. Res.* **2014**, *3*(7), 2028–2038.
12. Lasa, H.I.D.; Afara 8, S. Processing of cashew nut shell liquid (Mozambique). Final Technical Report, Chemical Reactor Engineering Centre, Faculty of Engineering Science, University of Western Ontario, London, 1995.
13. Dũng, T.V. Nghiên cứu công nghệ sản xuất bột má phanh (bộ ma sát) từ dầu vỏ hạt điều. *Tạp chí phát triển KH&CN* **2007**, *10*(06), 59–65.

14. Trinh, P.T. Nghiên cứu công nghệ chiết tách cardanol từ dầu vỏ hạt điều và ứng dụng để sản xuất sơn tàu biển và vật liệu kết dính chất lượng cao. 2009, Báo cáo tổng kết khoa học, kỹ thuật Đề tài.
15. Đề tài NCKH của Bộ Công thương. Truy xuất từ <https://csdl.khcncongthuong.vn/Home/Detail/21967?MaDeTai=Nv.2984/21>
16. Knothe, G. Biodiesel and renewable diesel: A comparison. *Prog. Energy Combust. Sci.* **2010**, 36(3), 364–373. doi:10.1016/j.pecs.2009.11.004.
17. Risfaheri; Irawadi, T.T.; Nur, M.A.; Sailah, I. Isolation of cardanol from cashew nut shell liquid using the vacuum distillation method. *Indonesian J. Agric.* **2009**, 2(1), 11–20.
18. Permata, M.L.; Trisunaryanti, W.; Falah, I.I.; Hapsari, M.T.; Fatmawati, D.A. The effect of Nickel content impregnated on zeolite toward catalytic activity and selectivity for hydrotreating of cashew nut shell liquid oil. *Rasayan J. Chem.* **2020**, 13(1), 772–779. doi:10.31788/RJC.2020.1315529.
19. Wang, G.; Nix, M.; Boudreaux, M. Toward Cloud-Assisted Industrial IoT Platform for Large-Scale Continuous Condition Monitoring. *Proceedings of the IEEE* **2019**, 107(6), 1–13. doi:10.1109/jproc.2019.2914021.

Assessment of the cashew nut shell liquid (CNSL) treatment status in Vietnam and proposing IoT integrated technological process to produce upgraded CNSL

Tran Thi Thanh Ngoc¹, Hoang Anh², Van Thi Thai Thu³, Ho Thi Thanh Van^{2*}

¹ Advanced Institute for Green Technology, Van Lang University;
ngoc.tran1011@gmail.com

² Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment;
hanh@hcmunre.edu.vn; httvan@hcmunre.edu.vn

³ Sai Gon University; vanthaihuqn@gmail.com

Abstract: Cashew shells, once being considered as waste of the cashew industry and burned, are becoming a potential source of raw materials to generate valuable products such as cashew nut shell liquid (CNSL). However, most of the cashew nut shell liquid produced by facilities in Vietnam is currently unrefined crude oil with low commercial value. Assessing the status of CNSL treatment, thereby proposing a simple technology to produce refined CNSL is really necessary to improve the economic value of the product. This study proposed a technological process using hydrothermal technology to refine CNSL with proper quality for potential use as fuel oil (FO oil). Besides, the process is integrated with IoT technology to automatize and control effectively, hence to optimize the process in terms of raw materials and energy with the aim at contributing to the achievement of sustainable development goals.

Keywords: Cashew nut shell liquid; Treatment status; Production process; Upgraded CNSL; IoT technology.