

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO XÓP XƠ MƯỚP KỶ NƯỚC BẰNG PHƯƠNG PHÁP - NHÚNG - PHỦ ĐƠN GIẢN VÀ ỨNG DỤNG TÁCH DẦU/DUNG MÔI HỮU CƠ RA KHỎI NƯỚC

Đỗ Danh Quang¹, Trần Thị Việt Hà¹, Nguyễn Thị Lan Hương²

Tóm tắt: Trong nghiên cứu này, một phương pháp nhúng phủ đơn giản, chi phí thấp và thân thiện với môi trường đã được sử dụng để chế tạo vật liệu kỷ nước trên nền xơ mướp tự nhiên (LS). LS được sử dụng làm vật liệu nền và sáp cọ (PW) được sử dụng làm vật liệu phủ. Sau hai bước nhúng và phun phủ, xốp kỷ nước PW-PW@LS đã được chế tạo thành công. Bề mặt PW-PW@LS đạt tới trạng thái kỷ nước với góc tiếp xúc $WCA = 142.3^\circ \pm 1^\circ$, làm tăng khả năng tách dầu ra khỏi nước. Vật liệu PW-PW@LS có thể loại bỏ dầu một cách nhanh chóng khỏi hỗn hợp dầu/nước nhờ đặc tính kỷ nước và ưa dầu, nhờ đó miếng xơ mướp có thể nổi trên mặt nước và hấp thụ dầu một cách có chọn lọc. Hơn nữa, chất nền xơ mướp và sáp đều có thể bị phân hủy sinh học trong chu trình sinh thái tự nhiên. Nghiên cứu này cung cấp ý tưởng mới cũng như giải pháp thiết thực để phát triển các vật liệu tiên tiến, có khả năng tự phân hủy sinh học, ứng dụng để xử lý môi trường và hướng tới mục tiêu phát triển bền vững.

Từ khóa: Cấu trúc ba chiều, kỷ nước, tách dầu/nước, xơ mướp.

1. MỞ ĐẦU

Ngày nay, nhân loại đang ở trong giai đoạn công nghiệp bùng nổ và nhu cầu về các sản phẩm dầu mỏ ngày càng tăng cao, dẫn tới vấn đề ô nhiễm dầu cũng vì thế ngày càng nghiêm trọng. Ngoài việc làm giảm lượng oxy hòa tan trong nước, dầu tràn ra đại dương còn ngăn cản ánh sáng mặt trời chiếu tới bề mặt. Các hợp chất độc hại trong dầu rò rỉ có thể gây ảnh hưởng nghiêm trọng cho cả môi trường và hệ sinh thái biển (Mishra, S., et al., 2022; Zhang B., et al., 2019). Để giải quyết vấn đề này, nhiều phương pháp đã được áp dụng bao gồm đốt cháy, xử lý hóa học, xử lý sinh học và tách trọng lực, v.v. (Gupta, R. K., et al., 2017). Tuy nhiên, những phương pháp này hầu hết đều có một số nhược điểm và có thể gây ô nhiễm thứ cấp sau khi được áp dụng. Chẳng hạn, phương pháp đốt cháy có thể giúp loại bỏ dầu ra khỏi nước nhưng cũng gây ô nhiễm không khí tạo ra lượng lớn CO_2 , SO_2 sau xử lý. Hiện nay, sử

dụng vật liệu siêu kỷ nước là một phương pháp mới được các nhà khoa học đánh giá là giải pháp hiệu quả tiềm năng cho các sự cố tràn dầu mà không gây ô nhiễm thứ cấp.

Nhiều nghiên cứu đã được thực hiện trên các loại vật liệu khác nhau để tạo ra vật liệu kỷ nước, chẳng hạn như vải, xốp, lưới kim loại v.v (Wu, M., et al., 2016; Zhao, X., et al., 2014; Li, W., et al., 2021). Tuy nhiên việc xử lý các vật liệu này sau khi chúng được sử dụng vẫn là một nhiệm vụ đầy thách thức, bởi vì chúng không thể phân hủy trong môi trường. Trong nghiên cứu này, chất nền xơ mướp (loofah sponge – LS) được chọn làm chất nền xốp ba chiều (3D) để điều chế vật liệu kỷ nước ứng dụng cho tách dầu/nước. Sáp cọ (palm wax – PW) được lựa chọn làm vật liệu phủ để biến tính kỷ nước cho LS. Tất cả các nguyên liệu thô này đều có nguồn gốc từ thực vật trong tự nhiên. Trong thành phần của LS chủ yếu bao gồm lignin, hemixenlulozơ và xenlulozơ, có nhiều nhóm hidroxit là nhóm chức ưa nước, làm cho chúng có khả năng thấm hút tự nhiên (Chen, Y., et al., 2018). Đặc tính thấm ướt bề mặt của chất nền

¹ Trường Đại học Việt Nhật, ĐHQGHN

² Trường Đại học Thủy lợi

xơ múp có thể thay đổi từ ưa nước sang kỵ nước bằng cách sử dụng các vật liệu phủ khác nhau. So với các chất nền khác đã được nghiên cứu trong nghiên cứu trước đây như aerogel (Qin, L., et al., 2018), silicon (Hoshian, S., et al., 2015), lưới kim loại hay vải cotton, vật liệu xơ múp sở hữu nhiều ưu điểm như có cấu trúc 3D với nhiều lỗ trống, độ bền và tính linh hoạt cao, khả năng tự phân hủy sinh học và giá thành rẻ (Wang, F., et al., 2019). Đến nay, trên thế giới, mới chỉ có rất ít nghiên cứu về việc ứng dụng xơ múp để chế tạo vật liệu kỵ nước/siêu kỵ nước để xử lý môi trường, và ở Việt Nam chưa có nghiên cứu nào đã từng được thực hiện theo hướng này

Theo đó, nghiên cứu này sẽ tập trung vào việc chế tạo và thử nghiệm các bề mặt kỵ nước làm bằng LS. Miếng xốp thu được có thể sử dụng để giải quyết các vấn đề ô nhiễm dầu và mở đường cho các nghiên cứu tiếp theo trong lĩnh vực này.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Vật liệu và hóa chất

Sáp cọ (PW) được mua từ các khu chợ địa phương ở Quốc Oai, Hà Nội. Xơ múp (LS) được mua trên chợ trực tuyến Shopee với các tiêu chí: quả múp hương chín có màu vàng, chiều dài 10-20 cm.

Ngoài ra, ethanol tuyệt đối (99,5%) được cung cấp từ Merck (Đức), xylene được cung cấp bởi Công ty trách nhiệm hữu hạn (TNHH) Hóa chất VWR, Pháp. 1H, 1H, 2H, 2H-Perfluorodecyltrichlorosilane (FTDS) được mua từ Sigma Aldrich, Mỹ. Cồn công nghiệp (C₂H₅OH, 70%, khối lượng phân tử MW=46,07) và natri hiđroxit (NaOH, MW=39,99, dạng bột) được mua từ Công ty TNHH Xilong Scientific, Trung Quốc, tất cả đều sử dụng được khi dùng. Dầu hỏa (tỉ trọng 0,81 g/cm³), xăng (A95) và dầu diesel (DO 0,05S) được cung cấp bởi Công ty xăng dầu Petrolimex Việt Nam. Nước khử ion (độ dẫn điện 0.06 μ S/cm) đã được chuẩn bị trong phòng thí nghiệm.

2.2. Phương pháp chế tạo vật liệu

2.2.1. Tiền xử lý xơ múp

Đầu tiên, LS thô có kích thước 5x5 cm, trọng

lượng trung bình 2,2 gam được rửa sạch 3 lần bằng nước khử ion để loại bỏ hết bụi bẩn, đất và cát. Sau đó, 100 mL NaOH 0,5M được sử dụng nhằm kiềm hóa loại bỏ các thành phần béo và dính, cũng như hemixenlulozo và lignin, đồng thời tăng độ nhám bề mặt và để cải thiện phản ứng với các chất biến tính. Cuối cùng, LS được rửa 3 lần với cồn công nghiệp (thể tích sử dụng là 50 mL) và sấy khô ở 40°C bằng tủ sấy (Thermo scientific, Mỹ) trong 5h.

2.2.2. Chế tạo lớp phủ PW@LS

4g sáp được hòa tan trong 100mL xylene ở 60°C trong 15 phút bằng máy khuấy từ có đĩa gia nhiệt (Lanphan 85-2, Trung Quốc). Tiếp tục bổ sung 0.1mL FTDS (96%) vào dung dịch trên, rung siêu âm (40kHz) trong 15 phút để thu được hỗn hợp dung dịch đồng nhất. Sau đó, LS được chuyển vào ngâm chìm trong dung dịch xylene đã chuẩn bị trong 12h. Sau khi sấy khô ở 40°C trong 4 giờ, các mẫu bột biển bọc một lớp sáp cọ được đặt tên là PW@LS.

2.2.3. Chế tạo lớp phủ PW-PW@LS

Ethanol được thêm vào dung dịch sáp-xylene với ethanol: xylene theo tỷ lệ thể tích 20%: 80% để tạo ra sự phân tách pha. Nồng độ PW trong hỗn hợp ethanol: xylene được duy trì ở mức 0,01 g/mL. Nhũ tương thu được đổ vào bình chứa, sử dụng súng phun (Wider 1, ANEST IWATA, Japan) để phun nhũ tương này ở áp suất 0,2-0,5 MPa lên mẫu PW@LS, từ khoảng cách 10-15 cm với góc phun vuông góc so với bề mặt xơ múp. Sau khi để khô trong điều kiện phòng, mẫu cuối cùng được đặt tên là PW-PW@LS.

2.3. Phương pháp phân tích vật liệu

Một số tính chất đặc trưng của vật liệu được xác định trên các thiết bị sau: thành phần nguyên tố của vật liệu được xác định bằng phương pháp phổ tán xạ tia X – EDX (Oxford MisF+, Anh). Thành phần pha của vật liệu được xác định bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD) (Rikaku MiniFlex 600, Nhật Bản). Hình thái cấu trúc bề mặt vật liệu được xác định bằng kính hiển vi điện tử quét SEM (Hitachi TM4000 Plus, Nhật Bản).

Phép đo phổ FTIR được sử dụng để mô tả các nhóm chức có trên bề mặt của các mẫu (Jasco FT-IR 4600, Nhật Bản). Góc tiếp xúc với nước (WCA) của bề mặt bọt biển được đo bằng máy đo góc SmartDrop (Femtofab, Hàn Quốc) kết hợp với kính hiển vi nằm ngang ở nhiệt độ phòng. Thể tích giọt nước được sử dụng cho các phép đo WCA là 7 μ L. Mỗi mẫu được đo ba lần tại các điểm khác nhau và các giá trị trung bình được tính toán.

2.4. Khảo sát khả năng loại bỏ dầu của PW-PW@LS

Thí nghiệm loại bỏ dầu được thiết kế như sau: chuẩn bị xơ mướp PW-PW@LS có kích thước 2x2 cm^2 , độ dày 1cm và hỗn hợp nước/dầu (5mL nước, 1mL dầu). Sau đó, xơ mướp được đưa vào hỗn hợp nước/dầu và lấy ra sau khi dầu được loại bỏ. Các kết quả và hình ảnh loại bỏ dầu được ghi lại.

2.5. Đánh giá khả năng hấp phụ dầu của PW-PW@LS

Xơ mướp PW-PW@LS đã tổng hợp có kích thước 2x2 cm^2 , độ dày 1cm được sử dụng để đánh giá khả năng hấp phụ các loại dầu hay dung môi hữu cơ khác nhau (kerosene, ethanol, hexane, diesel...). Thí nghiệm được thực hiện bằng cách

nhúng PW-PW@LS vào dầu hoặc dung môi trong 5 phút và sau đó lấy ra. Khả năng hấp phụ dầu dựa trên sự thay đổi trọng lượng của xơ mướp được tính toán theo công thức sau:

Khả năng hấp phụ dầu

$$k = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \quad (\text{g/g}) \quad (1)$$

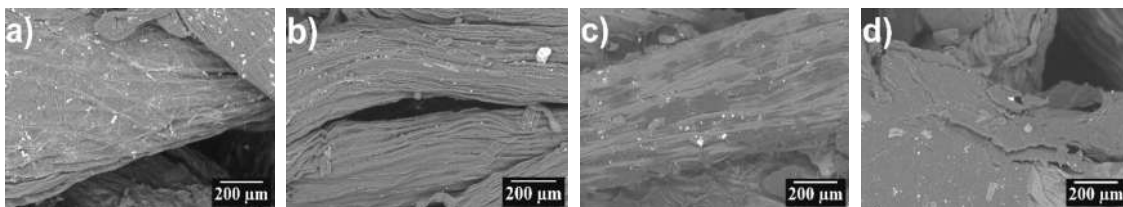
Trong đó m_0 và m_1 lần lượt là trọng lượng của PW-PW@LS ban đầu và sau khi hấp phụ.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả SEM

Hình 1 cho thấy hình thái của bề mặt xơ mướp trước và sau khi được phủ bằng sáp cọ. Ảnh SEM (a) trong Hình 1 phản ánh cấu trúc xốp 3D của LS. So với bề mặt nhẵn và đặc của xơ mướp nguyên bản như trong Hình 1a), bề mặt của xơ mướp sau các lớp phủ như trong Hình 1 (c, d), tương đối thô nhám, có nhiều vết lồi lõm và gồ ghề. Độ thô nhám này là kết quả sau các bước nhúng và phun, PW đã bám được lên bề mặt LS.

Sau bước nhúng và phun, bề mặt xơ mướp gồ ghề và thô nhám hơn so với xơ mướp thô. Điều này làm cho bề mặt xơ mướp trở nên kỵ nước hơn và khả năng phân tách nước và dầu tốt hơn.

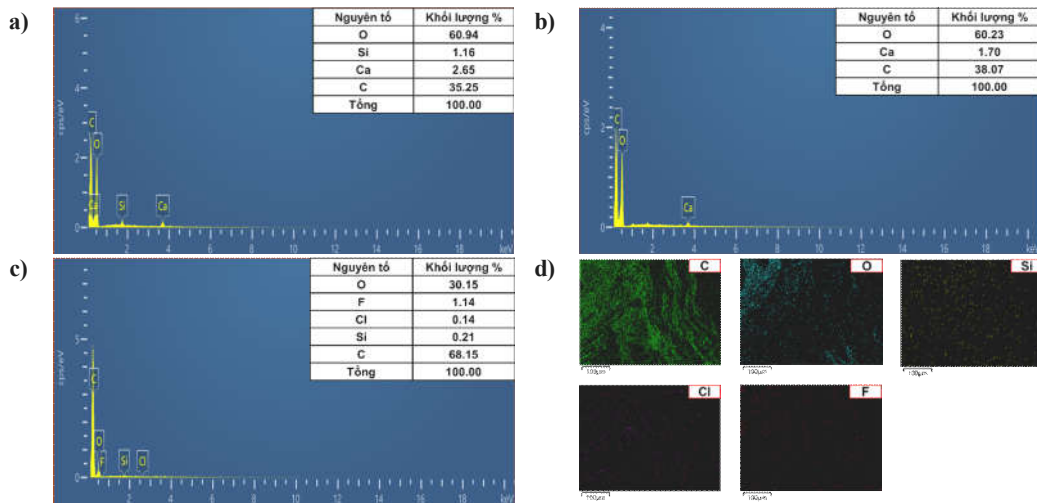


Hình 1. Ảnh SEM của mẫu LS a) thô, b) sau tiền xử lý, c) PW@LS và d) PW-PW@LS

3.2. Kết quả phổ tán xạ năng lượng EDX

Để xác định hàm lượng của các nguyên tố trong thành phần vật liệu, phương pháp EDX đã được sử dụng. Kết quả được trình bày ở Hình 2 (a, b, c). Các nguyên tố chính quan trọng của LS thô là C và O. Ngoài ra, có sự xuất hiện của các nguyên tố Si, Ca cho thấy sự có mặt của các tạp chất, đất, cát, v.v... trong mẫu LS thô (Hình 2a). Như được thể hiện trong Hình 2b, phân tích EDX của LS sau tiền xử lý, nguyên tố Si không còn xuất hiện cho thấy tạp chất đã được loại bỏ. Sau

khí nhúng và phun phủ lên bề mặt LS, bên cạnh các nguyên tố C và O, các nguyên tố F, Cl, Si được tìm thấy cho thấy rằng FTDS đã được phủ thành công lên trên bề mặt LS. Tỷ lệ phần trăm theo khối lượng của các nguyên tố C và O lần lượt là 35,35% và 60,94% đối với LS thô và 68,15% và 30,15% đối với LS sau phun phủ (hình 2c). Từ kết quả biểu đồ nguyên tố trên bề mặt, có thể thấy độ bao phủ đồng đều của PW trên bề mặt LS, các nguyên tố C và O được phân bố đều trên khung cấu trúc của xơ mướp (Hình 2d).



Hình 2. Phổ tán xạ năng lượng EDX của mẫu LS a) thô, b) sau tiền xử lý, c) PW-PW@LS và d) biểu đồ nguyên tố trên bề mặt PW-PW@LS

3.3. Kết quả giải đồ nhiễu xạ tia X

Các mẫu XRD của LS thô và LS sau khi chỉnh sửa được minh họa trong Hình 3. Mẫu của LS thô thể hiện một đỉnh rộng ở $2\theta = 22,8^\circ$ và một đỉnh nhỏ ở $2\theta = 16,6^\circ$. Các đỉnh này chỉ ra rằng LS tồn tại trong pha vô định hình. Nhiễu xạ của LS sau khi tiền xử lý dường như tương tự LS thô. Tuy nhiên, các đỉnh nhiễu xạ của LS ở $2\theta = 22,8^\circ$ và $2\theta = 16^\circ$ có cường độ nhiễu xạ giảm so với cường độ nhiễu xạ của LS thô. Đây có thể là dấu hiệu của sự gia tăng các phần vô định hình và giảm các phần kết tinh (Kallel, F., et al., 2016).

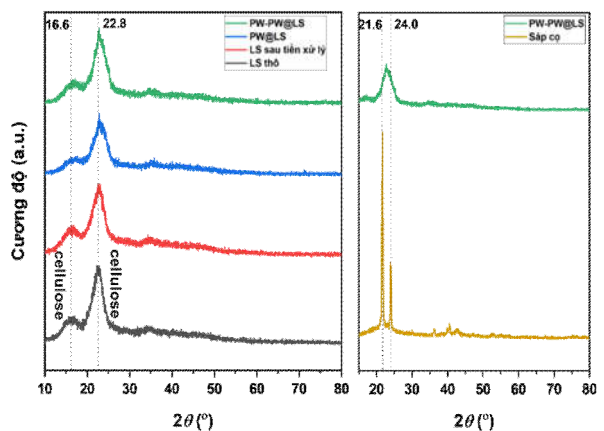
Ảnh nhiễu xạ của PW-PW@LS phản ánh sự chồng lấp của các đỉnh liên quan đến sáp ($2\theta = 21,6^\circ$ và 24°) (Li, Y., et al., 2014) với các đỉnh của LS.

3.4. Kết quả phổ hồng ngoại IR

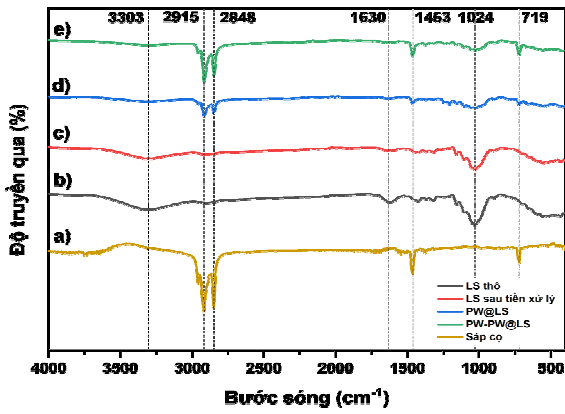
Phổ FT-IR của hỗn hợp sáp, LS thô, LS sau tiền xử lý, PW@LS và PW-PW@LS được thể hiện trong Hình 4. Đỉnh hấp thụ ở 3280 cm^{-1} được cho là sự có mặt của các dao động nhóm -OH tồn tại trên bề mặt của LS. Các đỉnh hấp thụ của hỗn hợp sáp ở 2915 cm^{-1} và 2848 cm^{-1} được gán cho các dao động kéo dãn đối xứng và bất đối xứng của nhóm methylene (-CH₂-) từ các nhóm C-H béo tồn tại trong các thành phần kỵ nước và lipid (Yu, M., et al., 2018). Đỉnh ở 1463 cm^{-1} được gán cho các dao động uốn không đối xứng của nhóm -CH₂-, -CH₃ và ở đỉnh 720 cm^{-1} được quy cho các

hợp chất chuỗi carbon dài trong sáp tự nhiên (Muscat, D., et al., 2013). Dao động tại 1024 cm^{-1} là dao động kéo dài của các nhóm C-OH, chúng thuộc về các dao động đặc trưng của nhóm hydroxit sơ cấp của xenlulozơ. Dải ở 1630 cm^{-1} tương ứng với dao động -OH của nước được hấp thụ trên bề mặt mẫu.

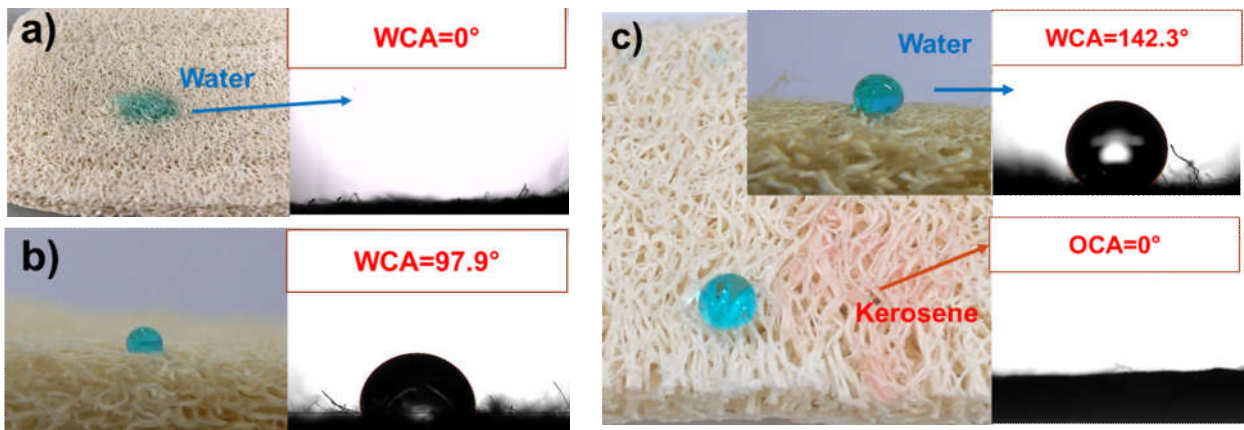
Ngoài ra, phổ FTIR của PW-PW@LS rất giống với phổ của LS thô, ngoại trừ việc dao động kéo dài nhóm -OH biến mất và xuất hiện các dao động đặc trưng của các nhóm methylene (2915 cm^{-1} và 2848 cm^{-1}), điều này cho thấy rằng bề mặt của xơ mướp sau phủ đã trở nên kỵ nước và nước không thể bám trên bề mặt được nữa.



Hình 3. Giải đồ XRD của mẫu a) sáp cò, b) LS thô, c) LS sau tiền xử lý, d) PW@LS và e) PW-PW@LS



Hình 4. Phổ hồng ngoại IR của mẫu a) sáp cọ, b) LS thô, c) LS sau tiền xử lý, d) PW@LS và e) PW-PW@LS



Hình 5. Ảnh kỹ thuật số về các giọt nước và dầu hỏa (kerosene) thêm lên trên bề mặt a) LS thô, b) PW@LS, c) PW-PW@LS. Các phần nhỏ thể hiện phép đo OCA (góc thấm dầu) và WCA tương ứng. Nước được nhuộm màu xanh lam

3.6. Đánh giá khả năng loại bỏ dầu và dung môi hữu cơ từ nước

Để nghiên cứu khả năng loại bỏ dầu thực tế bằng cách sử dụng PW-PW@LS kỵ nước -siêu ưa dầu, khả năng hấp phụ bão hòa của xơ mướp chức năng đã được nghiên cứu.

3.6.1. Thí nghiệm loại bỏ dầu nổi

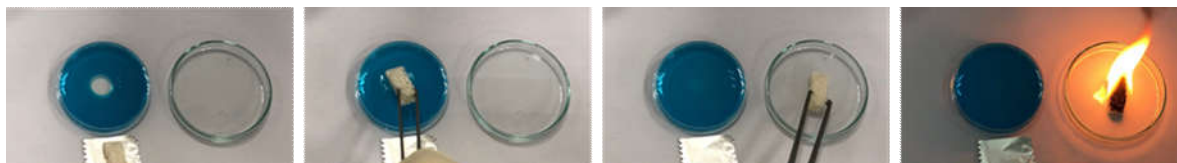
Hình 6 minh họa các đặc tính tách dầu/nước bằng cách sử dụng PW-PW@LS để hấp phụ dầu nổi. Dầu diesel được sử dụng để mô phỏng sự cố tràn dầu thường gặp trên mặt nước. Có thể thấy rằng dầu được hấp thụ một cách nhanh chóng ngay khi xơ mướp PW-PW@LS vừa tiếp xúc với dầu. Không còn dầu trên mặt nước sau khi loại bỏ

3.5. Kết quả đo góc tiếp xúc

Các hình ảnh của kerosene và các giọt nước trên bề mặt của LS được hiển thị trong Hình 5. Có thể nhận thấy rằng cả giọt nước và dầu đều lan rộng trên bề mặt của LS thô (Hình 5a), điều này cho thấy bản chất ưa nước và ưa dầu của LS thô. So sánh Hình 5b, 5c cho thấy được vai trò của bước phun phủ sau khi nhúng, góc WCA tăng rõ rệt. WCA trên bề mặt PW-PW@LS sau khi phun phủ lên tới $142.3^\circ \pm 1^\circ$. Nhờ đặc tính kỵ nước và ưa dầu, xơ mướp PW-PW@LS được cho là vật liệu tiềm năng để ứng dụng thu hồi dầu hoặc dung môi hữu cơ từ nước.

PW-PW@LS khỏi nước. Điều này chứng tỏ khả năng tách dầu/nước rất tốt của PW-PW@LS. Ngoài ra, PW-PW@LS còn có thể tách dầu hỏa, xăng và các dung môi hữu cơ ra khỏi mặt nước. Điều này đã được kiểm chứng qua các thí nghiệm được thiết kế tương tự.

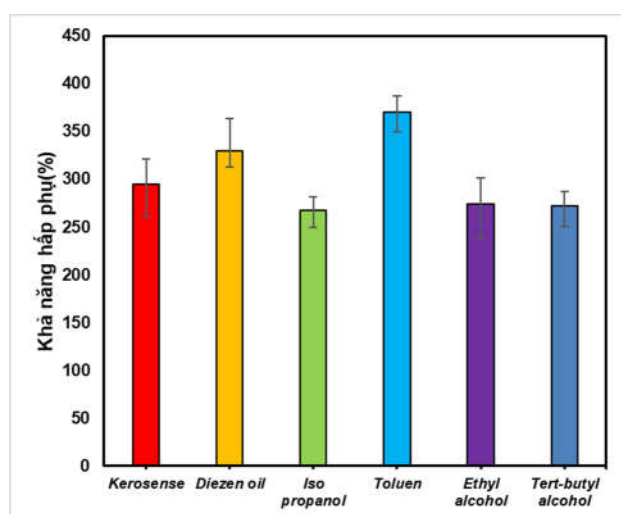
Cơ chế tách dầu được xem xét ở đây là do bề mặt kỵ nước của PW-PW@LS. Bề mặt kỵ nước của PW-PW@LS làm cho nước không thấm được lên bề mặt xơ mướp. Sự hấp phụ của dầu có nguồn gốc từ các mao mạch của các sợi xenlulozơ. Dầu được thấm hút lên bề mặt xơ mướp và được tách ra khỏi nước.



Hình 6. Sơ đồ thí nghiệm loại bỏ dầu nổi từ nước. Dầu diesel được sử dụng như dầu nổi trên nước biển và nước được nhuộm xanh để dễ phân biệt

3.6.2. Tính toán khả năng hấp thụ dầu của PW-PW@LS

Khả năng hấp thụ dầu và các dung môi hữu cơ của vật liệu PW-PW@LS được thể hiện trong Hình 7 và Bảng 1.



Hình 7. Khả năng hấp phụ của PW-PW@LS đối với các loại dầu và dung môi khác nhau

Bảng 1. Kết quả khả năng hấp phụ của PW-PW@LS

Dầu/Dung môi hữu cơ	Tỉ trọng g/cm ³ (20°C)	Khả năng hấp phụ(g/g)
Kerosene	0.810	2.95
Diezel oil	0.850	3.30
Iso propanol	0.785	2.68
Toluene	0.866	3.70
Ethyl alcohol	0.789	2.74
Tert-butyl alcohol	0.789	2.72

Đối với tất cả các loại dầu và dung môi được chọn, khả năng hấp phụ toluen là cao nhất, là

khoảng 300% trọng lượng đến 400% trọng lượng đối với vật liệu hấp phụ. Khả năng hấp phụ của PW-PW@LS đối với dầu/dung môi có tỷ trọng cao cao hơn dầu/dung môi có tỷ trọng thấp. Mật độ của dầu càng lớn thì khả năng hấp thụ dầu của PW-PW@LS càng lớn. Tốc độ hấp phụ của xơ mướp bị ảnh hưởng bởi độ nhớt của dung môi hữu cơ và dầu. Các dung môi hữu cơ có độ nhớt thấp, chẳng hạn etanol, propanol và xăng sẽ được PW-PW@LS hấp phụ ngay lập tức, trong khi đó vật liệu này phải mất lâu hơn để hấp phụ toluen có độ nhớt cao.

4. KẾT LUẬN

Vật liệu kỵ nước có nguồn gốc từ tự nhiên PW-PW@LS đã được chế tạo thành công thông qua quy trình gồm 2 bước nhúng và phun phủ. Các đặc tính vật liệu đã được khảo sát chi tiết bằng các phương pháp hiện đại SEM, EDX, XRD, FTIR và WCA. Các thí nghiệm về hấp phụ dầu trong nước đã được thực hiện. Các kết quả cho thấy PW-PW@LS có khả năng hấp phụ dầu với hiệu suất đạt tới 300-400% trọng lượng của vật liệu hấp phụ. Bên cạnh đó, PW-PW@LS là một vật liệu tiềm năng, vật liệu “xanh” có thể tự phân hủy sinh học. Các kết quả cho thấy rằng vật liệu này có thể ứng dụng thực tế trong việc làm sạch dầu tràn và loại bỏ các chất ô nhiễm hữu cơ khỏi bề mặt nước, hướng tới bảo vệ môi trường và phát triển bền vững.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Việt Nhật, ĐHQGHN và Cơ quan Hợp tác Quốc tế Nhật Bản, JICA [Mã số đề tài: VJU. JICA. 21.03].

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Chen, Y., Su, N., Zhang, K., Zhu, S., Zhu, Z., Qin, W., . . . Guo, Y. (2018). “*Effect of fiber surface treatment on structure, moisture absorption and mechanical properties of luffa sponge fiber bundles*”. *Industrial Crops and Products*, 123, 341-352.
- Gupta, R. K., Dunderdale, G. J., England, M. W., & Hozumi, A. J. J. o. M. C. A. (2017). “*Oil/water separation techniques: a review of recent progresses and future directions*”. 5(31), 16025-16058.
- Hoshian, S., Jokinen, V., Somerkivi, V., Lokanathan, A. R., & Franssila, S. (2015). “*Robust Superhydrophobic Silicon without a Low Surface-Energy Hydrophobic Coating*”. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 7(1), 941–949.
- Kallel, F., Bettaieb, F., Khiari, R., García, A. E., Bras, J., & Chaabouni, S. E. (2016). “*Isolation and structural characterization of cellulose nanocrystals extracted from garlic straw residues*”. *Industrial Crops and Products*, 87, 287–296.
- Li, W., Wang, F., & Li, Z. (2021). “*A facile strategy for fabricating robust superhydrophobic and superoleophilic metal mesh via diazonium chemistry*”. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 630, 127570.
- Li, Y., Samad, Y. A., Polychronopoulou, K., Alhassan, S. M., & Liao, K. J. J. o. M. C. A. (2014). “*From biomass to high performance solar–thermal and electric–thermal energy conversion and storage materials*”. 2(21), 7759-7765.
- Mishra, S., Chauhan, G., Verma, S., & Singh, U. (2022). “*The emergence of nanotechnology in mitigating petroleum oil spills*”. *Marine Pollution Bulletin*, 178, 113609.
- Muscat, D., Adhikari, R., McKnight, S., Guo, Q., & Adhikari, B. J. J. o. F. E. (2013). “*The physicochemical characteristics and hydrophobicity of high amylose starch–glycerol films in the presence of three natural waxes*”. 119(2), 205-219.
- Qin, L., Chen, N., Zhou, X., & Pan, Q. (2018). “*A superhydrophobic aerogel with robust self-healability*”. *Journal of Materials Chemistry. A, Materials for Energy and Sustainability*, 6(10), 4424–4431.
- Wang, F., Xie, T., Zhong, W., Ou, J., Xue, M., & Li, W. (2019). “*A renewable and biodegradable all-biomass material for the separation of oil from water surface*”. *Surface and Coatings Technology*, 372, 84-92.
- Wu, M., Ma, B., Pan, T., Chen, S., & Sun, J. (2016). “*Silver-Nanoparticle-Colored Cotton Fabrics with Tunable Colors and Durable Antibacterial and Self-Healing Superhydrophobic Properties*”. *Advanced Functional Materials*, 26(4), 569–576.
- Yu, M., Lin, B., Chen, S., Deng, Q., Liu, G., & Wang, Q. J. R. a. (2018). “*Biomimetic fabrication of superhydrophobic loofah sponge: robust for highly efficient oil–water separation in harsh environments*”. 8(43), 24297-24304.
- Zhang, B., Matchinski, E. J., Chen, B., Ye, X., Jing, L., & Lee, K. (2019). “*Chapter 21 - Marine Oil Spills—Oil Pollution, Sources and Effects*”. In C. Sheppard (Ed.), *World Seas: An Environmental Evaluation (Second Edition)* (pp. 391-406): Academic Press.
- Zhao, X., Li, L., Li, B., Zhang, J., & Wang, A. (2014). “*Durable superhydrophobic/superoleophilic PDMS sponges and their applications in selective oil absorption and in plugging oil leakages*”. *Journal of Materials Chemistry. A, Materials for Energy and Sustainability*, 2(43), 18281–18287.

Abstract:
**FACILE FABRICATION OF HYDROPHOBIC SPONGE
WITH SELECTIVE ABSORPTION AND OIL REMOVAL FROM WATER**

This study developed a simple, inexpensive, and eco-friendly method to fabricate a hydrophobic material using a natural loofah sponge (LS). LS is used as the substrate and palm wax (PW) is used as the coating material. After the dipping and spraying process, the hydrophobic sponge PW-PW@LS has been successfully fabricated. The water contact angle (WCA) on the surface of the PW-PW@LS is as high as $142.3^\circ \pm 1^\circ$. The PW-PW@LS material can instantly remove oil from an oil/water mixture. The properties of simultaneous hydrophobicity and oleophilic enabled the sponge to float on the water's surface and selectively absorb oil. Furthermore, both the LS substrate and the wax can be biodegraded in the natural ecological cycle. The present work provides a new idea and practical solution for developing advanced, biodegradable, and sustainable materials for environmental treatment.

Keywords: Hydrophobic, loofah sponge, oil water separation, three-dimensional (3D) structure.

Ngày nhận bài: 15/4/2023

Ngày chấp nhận đăng: 02/6/2023