

Chế tạo vật liệu quang nhiệt từ thân cây ngô và lớp phức giữa ion Fe^{3+} và axit tannic cho hệ bay hơi nước

Phạm Tiên Thành*, Nguyễn Hoàng Oanh

Trường Đại học Việt Nhật, Đại học Quốc gia Hà Nội, đường Lưu Hữu Phước, phường Cầu Diễn, quận Nam Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 24/7/2022; ngày chuyển phản biện 25/7/2022; ngày nhận phản biện 5/9/2022; ngày chấp nhận đăng 22/9/2022

Tóm tắt:

Gần đây, các nghiên cứu phát triển hệ lọc nước mặn thành nước sạch sử dụng phương pháp bay hơi nước ở bề mặt giao diện vật liệu quang nhiệt và không khí bằng năng lượng mặt trời (hệ bay hơi nước) đang thu hút được sự quan tâm của cộng đồng khoa học. Trong các hệ lọc nước mặn này, vật liệu quang nhiệt đóng vai trò chính nhằm nâng cao hiệu suất lọc nước của hệ. Nghiên cứu này đề xuất phương pháp chế tạo vật liệu quang nhiệt bằng cách xử lý thân cây ngô với dung dịch axit tannic và muối Fe^{3+} có giá rẻ và thân thiện với môi trường. Bề mặt vật liệu quang nhiệt từ thân cây ngô có khả năng hấp thụ trên 90% ánh sáng có bước sóng 300-1500 nm nhờ hình thành lớp phức chất giữa ion Fe^{3+} và các nhóm hydroxyl (OH) của axit tannic với kích cỡ 200-1000 nm. Bên cạnh đó, thân cây ngô với cấu trúc gồm hệ mao dẫn và cấu trúc xốp đa lớp như tổ ong giúp cho vật liệu quang nhiệt có khả năng dẫn truyền nước nhanh và giảm hệ số truyền nhiệt của vật liệu quang nhiệt. Do đó, hiệu suất bay hơi nước của hệ bay hơi nước sử dụng vật liệu quang nhiệt nêu trên đạt $1,58 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Hiệu suất này được duy trì ổn định trong thời gian dài nhờ độ bền của vật liệu thân cây ngô trong nhiều điều kiện khác nhau. Kết quả này cho thấy tiềm năng ứng dụng vật liệu quang nhiệt từ thân cây ngô với giá thành rẻ và thân thiện môi trường vào các ứng dụng hệ bay hơi nước mặn.

Từ khóa: hệ bay hơi nước, thân cây ngô, vật liệu biomass, vật liệu quang nhiệt.

Chỉ số phân loại: 1.3, 2.5

Corn straw coated with Fe^{3+} -tannic acid bilayers as a photothermal material for solar steam generation

Tien Thanh Pham*, Hoang Oanh Nguyen

Vietnam Japan University, Vietnam National University - Hanoi, Luu Huu Phuoc Street, Cau Dien Ward, Nam Tu Liem District, Hanoi, Vietnam

Received 24 July 2022; revised 5 September 2022; accepted 22 September 2022

Abstract:

Recently, studies on developing a system to filter seawater into clean water using the method of water evaporation at the interface of photothermal materials and air using solar energy (solar steam generation - SSG) have attracted increasing attention from the scientific community. In those SSG systems, photothermal materials play a key role in improving water evaporation rate and efficiency. In this study, a photothermal material was fabricated by treating the corn straw with tannic acid and Fe^{3+} solution (cheap and environmentally friendly). The surface of photothermal material from corn stalks exhibited a good ability to absorb over 90% of light with wavelengths of 300-1500 nm due to the formation of a complex layer between Fe^{3+} ions and hydroxy groups (OH) of tannic acid with sizes of 200-1000 nm. Besides, corn straw consists of many vascular bundles and porous multilayers that exhibit a honeycomb-like structure, which improves the ability of water transportation and reduces the thermal conductivity of the material. Therefore, an SSG system utilising the photothermal material based on corn straw possesses a high-water evaporation efficiency of $1.58 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. This efficiency was stably maintained for a long time due to the durability of corn straw in various conditions. The corn straw-based photothermal material showed high potential for SSG utilising seawater desalination method with affordable fabrication cost and eco-friendly raw materials.

Keywords: biomass material, corn straw, photothermal material, solar steam generation.

Classification numbers: 1.3, 2.5

*Tác giả liên hệ: Email: pt.thanh@vju.ac.vn

1. Đặt vấn đề

Nước có mặt ở mọi nơi, tuy nhiên nước sạch không phải nơi nào cũng có. Vấn đề ô nhiễm nguồn nước, xâm nhập mặn do biến đổi khí hậu đang ảnh hưởng nghiêm trọng đến an ninh nguồn nước của nhiều quốc gia trên thế giới, trong đó có Việt Nam [1]. Với nhiều ưu điểm như sử dụng nguồn năng lượng mặt trời (năng lượng tái tạo), không gây ô nhiễm môi trường, dễ dàng lắp đặt và vận hành, có giá rẻ, phương pháp bay hơi nước mặn thành nước sạch (hệ lọc nước mặn) bằng năng lượng mặt trời được kỳ vọng là giải pháp bền vững để đảm bảo nguồn nước sạch phục vụ sinh hoạt ở các vùng chịu ảnh hưởng của hạn mặn cũng như thiếu nước ở Việt Nam và thế giới [2-4].

Hệ lọc nước mặn sử dụng năng lượng mặt trời gồm 2 phần chính: (1) Vật liệu hấp thụ và chuyển hóa năng lượng mặt trời có vai trò hấp thụ ánh sáng và chuyển thành nhiệt năng và dẫn truyền nước lên bề mặt để bay hơi; (2) Bộ phận thu hơi nước với nhiệm vụ chuyển hóa hơi nước thành dạng lỏng (nước sạch) [5, 6]. Nguyên lý cơ bản của hệ là dùng nhiệt lượng chuyển hóa từ ánh sáng mặt trời làm tăng nhiệt độ bề mặt vật liệu. Ở nhiệt độ thích hợp lớp nước ở bề mặt vật liệu từ dạng lỏng chuyển sang dạng hơi. Lớp nước này được cung cấp liên tục lên bề mặt bằng hệ mao dẫn trong vật liệu để quá trình bay hơi diễn ra liên tục [6]. Bộ phận thu hơi nước ngưng tụ hơi nước và chuyển thành dạng lỏng. Do đó, hiệu suất của một hệ bay hơi nước được quyết định bởi các yếu tố sau: i) Hiệu suất chuyển đổi quang nhiệt; ii) Khả năng giữ nhiệt ở bề mặt vật liệu và giảm mất nhiệt ra môi trường xung quanh; iii) Tốc độ cung cấp nước lên bề mặt của vật liệu [2].

Có thể thấy, vật liệu quang nhiệt là yếu tố chính quyết định hiệu suất của hệ bay hơi nước nhằm lọc nước mặn thành nước sạch [3-6]. Hiệu suất cao của hệ bay hơi đạt được từ thành công trong việc chế tạo vật liệu hấp thụ và chuyển hóa quang năng với hiệu suất cao từ nhiều loại vật liệu khác nhau, như vật liệu hạt nano kim loại, oxit kim loại, polymer, vật liệu bán dẫn, biomass [5-8]. Tuy nhiên, việc ứng dụng các hệ bay hơi nước sử dụng vật liệu nêu trên trong điều kiện thực tế với quy mô lớn còn có nhiều thách thức vì các lý do như quy trình chế tạo vật liệu phức tạp, khó chế tạo quy mô lớn, giá thành cao, độ bền của vật liệu chưa cao và không thân thiện với môi trường [6, 8].

Vật liệu biomass có các đặc tính nổi bật như hệ mao dẫn tự nhiên trong cấu trúc, tính ưa nước cao, hệ số truyền nhiệt và bức xạ nhiệt thấp, độ bền cao và đặc biệt vật liệu biomass là các phế phẩm nông nghiệp nên có giá thành rẻ. Các đặc tính này phù hợp để chế tạo vật liệu quang nhiệt. Rất nhiều các loại thân cây đã được sử dụng để chế tạo vật liệu quang

nhiệt như gỗ, thân cây mía, cây tre... [2, 8]. Bằng nhiều phương pháp khác nhau như xử lý nung ở nhiệt độ cao trong điều kiện khí Argon (Ar), kết hợp vật liệu hạt nano kim loại, phủ lớp phức có khả năng hấp thụ ánh sáng mặt trời. Các vật liệu biomass được chế tạo thành vật liệu quang nhiệt với độ hấp thụ ánh sáng mặt trời trên 95% [4-8]. Do đó vật liệu quang nhiệt có thể đạt được hiệu suất bay hơi 1,3-1,7 kg m⁻² h⁻¹ [8, 9].

Cây ngô được trồng rộng rãi ở Việt Nam, bắp ngô được thu hoạch và sử dụng cho nhiều mục đích khác nhau. Tuy nhiên phần thân cây ngô, là phụ phẩm nông nghiệp, thường bị bỏ đi hoặc làm nguyên vật liệu đun nấu. Trong nghiên cứu này, thân cây ngô được sử dụng để chế tạo vật liệu quang nhiệt bằng phương pháp tạo lớp phức của axit tannic và ion Fe³⁺ trên bề mặt thân cây ngô [10]. Từ đó vật liệu quang nhiệt có khả năng hấp thụ trên 90% đối với ánh sáng mặt trời và có hiệu suất bay hơi nước 1,58 kg m⁻² h⁻¹. Vật liệu quang nhiệt được chế tạo còn cho thấy, độ bền cao nhờ thân cây ngô là vật liệu tự nhiên với thành phần chính là cellulose có thể duy trì cấu trúc trong nhiều điều kiện khác nhau. Với quy trình chế tạo đơn giản và giá thành rẻ, vật liệu quang nhiệt này cho thấy tiềm năng có thể chế tạo ổn định ở quy mô lớn.

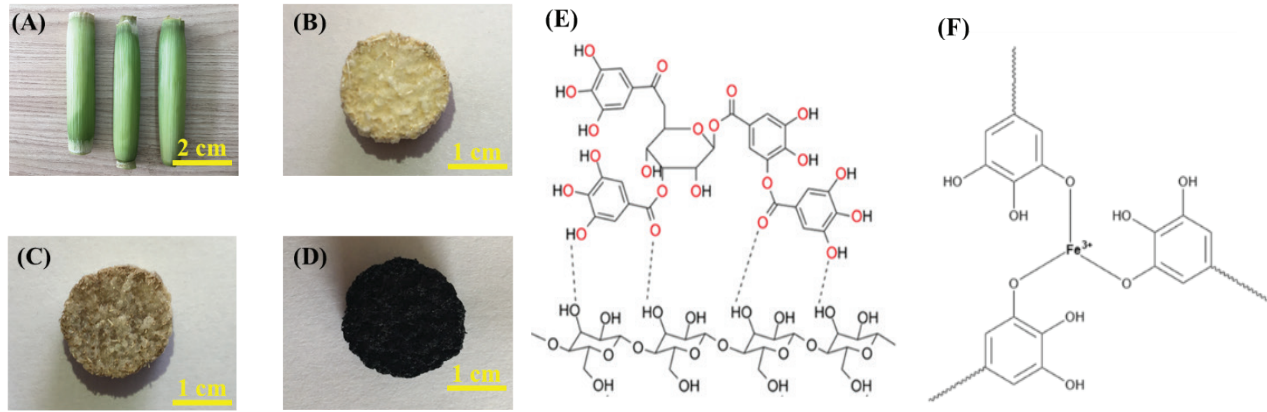
2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Các hóa chất được dùng cho thực nghiệm: Ethanol, axit tannic, FeCl₃.6H₂O (GHTECH, Trung Quốc). Nước biển được lấy từ biển Nghệ An, Việt Nam. Vật liệu thân cây ngô được lấy từ thân cây ngô sau khi thu hoạch bắp ngô.

2.2. Quy trình chế tạo vật liệu

Thân cây ngô (hình 1A) được cắt dọc thành các miếng có độ dày 10 mm (hình 1B) với đường kính 2,2-2,4 cm. Các đoạn thân cây ngô tươi được xử lý bằng dung dịch ethanol trong 60 phút để loại bỏ các chất hữu cơ có trên bề mặt vật liệu này. Sau đó, vật liệu quang nhiệt từ thân cây ngô được chế tạo theo các bước chính như sau [10]: (1) Nhúng miếng ngô sau khi xử lý bằng dung dịch etanol và 100 ml dung dịch axit tannic trong 4 giờ; dung dịch axit tannic được chuẩn bị bằng cách hòa tan 0,4 g axit tannic với 100 ml nước khử ion (nước DI). Sau khi vớt ra và rửa bằng nước DI, chúng ta thu được vật liệu thân cây ngô - tannic (hình 1C); (2) Thân cây ngô - tannic được cho vào 100 ml dung dịch FeCl₃ (hòa tan 0,2 g FeCl₃.6H₂O với 100 ml nước DI) trong 2 giờ; sau đó rửa bằng nước DI và để khô tự nhiên, chúng ta thu được vật liệu quang nhiệt từ thân cây ngô (hình 1D).



Hình 1. Thân cây ngô (A); thân cây ngô được cắt miếng có độ dày 10 mm (B); thân cây ngô sau khi cho vào dung dịch axit tannic (C); vật liệu quang nhiệt từ cây ngô (D); liên kết giữa axit tannic và cellulose ở bề mặt thân cây ngô (E); phức giữa nhóm OH của axit tannic và ion Fe^{3+} (F).

2.3. Phương pháp phân tích vật liệu

Cấu trúc bề mặt của vật liệu được phân tích bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM; Regulus 8100, Hitachi, Nhật Bản), thành phần nguyên tố ở bề mặt vật liệu được phân tích bằng hệ phân tích tia X phân tán năng lượng (XRD, Mini Flex 600, Rigaku, Nhật Bản). Nhóm chức có trên bề mặt vật liệu được phân tích bằng hệ phân tích quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR-4600 Jasco, Nhật Bản). Độ hấp thụ của vật liệu được xác định từ kết quả đo độ truyền qua và phản xạ, tán xạ của vật liệu bằng sử dụng phương pháp phân tích quang phổ UV-VIS-NIR (LAMBDA; Perkin Elmer, Mỹ). Nhiệt độ bề mặt của vật liệu được quan sát bằng camera hồng ngoại (FLIR C2; FLIR Systems, Inc., Hoa Kỳ).

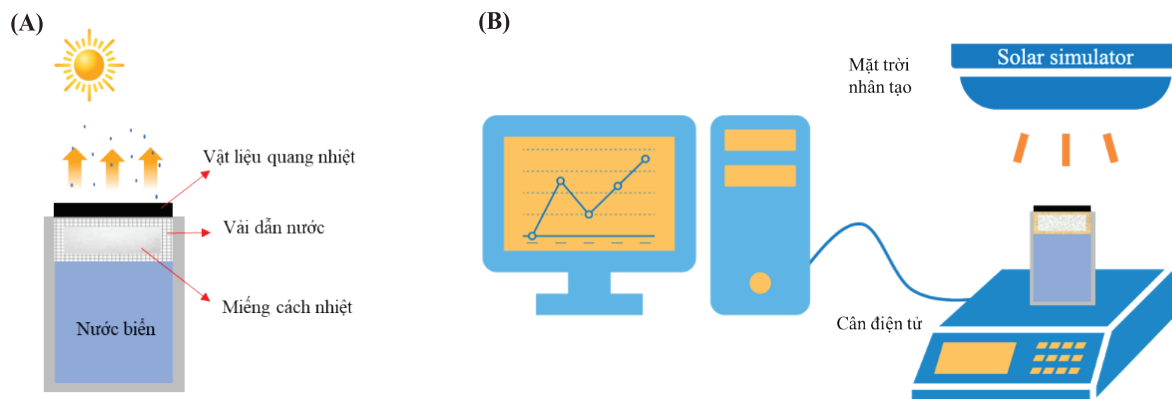
2.4. Thí nghiệm bay hơi nước

Hệ bay hơi nước được thiết kế như ở hình 2A, gồm 1 cốc có đường kính 4 cm được cho đầy nước; tấm polystyrene đặt ở giữa vật liệu quang nhiệt và bề mặt nước có tác dụng giảm thất thoát nhiệt được chuyển hóa từ năng lượng mặt trời từ vật liệu quang nhiệt; tấm vải được phủ kín tấm polystyrene nhằm dẫn nước lên mặt dưới của vật liệu quang nhiệt (hình 2A), từ đó nước được đưa lên bề mặt vật liệu quang nhiệt

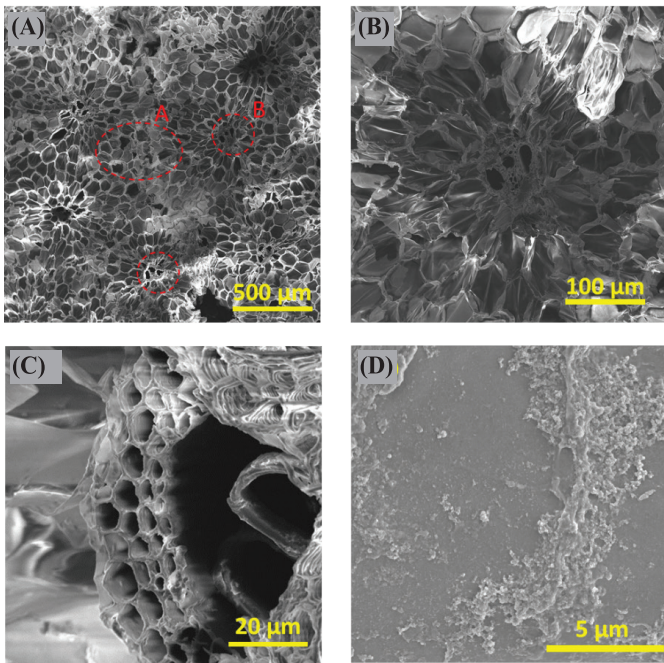
qua hệ mao dẫn có trong vật liệu; vật liệu quang nhiệt từ thân cây ngô với đường kính từ 2,2 cm và độ dày 10 mm được đặt ở trên tấm vải dẫn nước và kín bề mặt cốc. Hệ bay hơi nước được đặt dưới mặt trời nhân tạo ((94021A, Newport Corporation, Hoa Kỳ) như ở hình 2B. Cường độ ánh sáng của mặt trời nhân tạo là 1 kW/m^2 , thời gian chiếu sáng là 60 phút, lượng nước bay hơi được ghi lại bằng cân điện tử như ở hình 2B (Mettler Toledo MS12002TS, Thụy Sĩ). Từ đó có thể xác định được hiệu suất bay hơi và chuyển hóa năng lượng mặt trời của vật liệu quang nhiệt ứng dụng vào hệ bay hơi nước. Để so sánh thí nghiệm bay hơi nước cũng được thực hiện với cốc nước không có vật liệu và cốc nước với vật liệu ngô.

3. Kết quả và bàn luận

Cấu trúc bề mặt của vật liệu quang nhiệt từ thân cây ngô được phân tích bằng kính hiển vi điện tử quét, kết quả thể hiện ở hình 3. Từ hình 3A có thể thấy, cấu trúc của thân cây ngô bao gồm 2 phần chính là cấu trúc xếp đa lớp và cấu trúc hệ mao dẫn (hình 3B). Với cấu trúc xếp, chúng ta có thể thấy giống như cấu trúc tổ ong với kích cỡ mỗi ô khoảng 70-120 μm . Cấu trúc xếp này giúp cho vật liệu có mật độ khối lượng thấp, độ dẫn nhiệt thấp do hình thành các bóng khí từ các ô trong cấu trúc tổ ong này [11]. Cấu trúc xếp này bao



Hình 2. Hệ bay hơi nước (A); hệ thí nghiệm bay hơi nước sử dụng mặt trời nhân tạo (B).



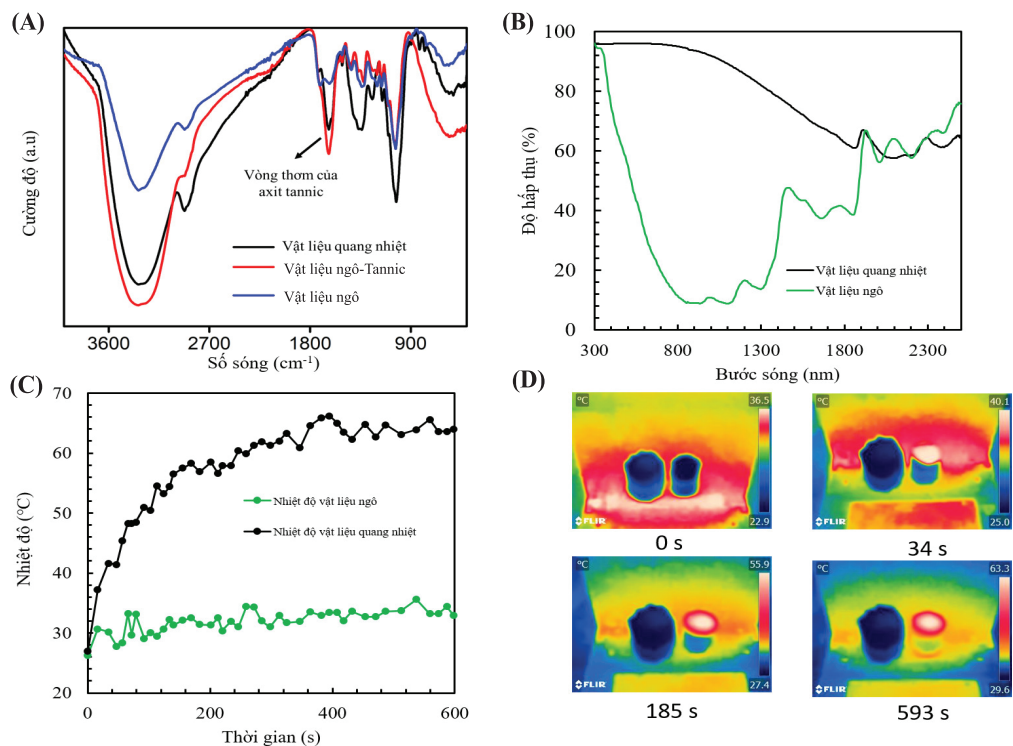
Hình 3. Cấu trúc bề mặt của vật liệu quang nhiệt ngô và hệ mao dẫn (A); phóng đại cấu trúc xốp và mao dẫn (B); hệ mao dẫn (C); lớp phức giữa ion Fe^{3+} và axit tannic có kích cỡ nano (D).

quanh các hệ mao dẫn như ở hình 3B và 3C. Hệ mao dẫn này có kích cỡ khoảng $100 \mu m$, bao gồm các ống mao dẫn nhỏ có kích cỡ $5-10 \mu m$ như ở hình 3C. Các hệ mao dẫn này đóng vai trò dẫn truyền nước trong cấu trúc, đưa nước từ khối nước lên bề mặt để bay hơi. Từ hình 3D chúng ta có thể thấy, các hạt phức chất giữa axit tannic và ion Fe^{3+} có kích cỡ từ 500 nm đến $1 \mu m$ trên bề mặt cấu trúc xốp cũng như mao dẫn [10]. Lớp phức này được hình thành theo các bước như sau: Khi xử lý vật liệu thân cây ngô bằng axit tannic, các phân tử axit tannic bám vào bề mặt ngô nhờ nhóm OH của axit tannic liên kết với các nhóm OH của cellulose như ở hình 1E [10, 12]. Có thể thấy sau khi xử lý bằng axit tannic, bề mặt ngô chuyển từ màu trắng sang màu vàng do các phân tử axit tannic. Sau đó, khi xử lý mẫu ngô - tannic với dung dịch Fe^{3+} , phức giữa ion Fe^{3+} và nhóm OH của axit tannic hình thành trên bề mặt ngô như ở hình 1F. Các phức chất này phân

bố ngẫu nhiên trên bề mặt và tạo thành lớp hấp thụ ánh sáng, do đó bề mặt ngô chuyển sang màu đen như ở hình 1F. Bên cạnh đó, lớp hấp thụ này phân bố trên cấu trúc xốp với kích cỡ μm của vật liệu thân ngô, do đó hiện tượng phản xạ nhiễu loạn trong cấu trúc dễ dàng xảy ra. Từ đó nâng cao độ hấp thụ của vật liệu quang nhiệt.

Kết quả phân tích thành phần nhóm chức có ở bề mặt vật liệu thân cây ngô và vật liệu quang nhiệt được thể hiện ở hình 4A. Phổ FTIR của vật liệu thân cây ngô có các đỉnh ở vùng số sóng như $3320, 1600, 1000-1200 \text{ cm}^{-1}$. Đây là các số sóng của các dao động đặc trưng cho nhóm chức như OH (3320 cm^{-1}), C=O và vòng thơm (1600 cm^{-1}), C-C và C=O ($1000-1200 \text{ cm}^{-1}$) [10, 12]. Các nhóm chức này là thành phần của cellulose, hemi cellulose hay một số hợp chất hữu cơ có vòng thơm có trong thân cây ngô. Sau khi xử lý bằng dung dịch axit tannic, chúng ta có thể thấy đỉnh ở vùng số sóng 1600 cm^{-1} trở lên rõ ràng hơn (hình 4A). Do các phân tử axit tannic với vòng thơm trong cấu trúc phân tử, bám vào bề mặt của vật liệu thân cây ngô tự nhiên. Tuy nhiên, từ phổ FTIR không xác định được sự tồn tại của phức ion Fe^{3+} và nhóm OH của axit tannic ở bề mặt vật liệu quang nhiệt, kết quả này cũng được chỉ ra trong các nghiên cứu về phức của ion Fe^{3+} và polyphenol đã được công bố [13].

Kết quả phân tích EDS mẫu vật liệu thân cây ngô, vật liệu thân cây ngô - tannic, vật liệu quang nhiệt được tổng hợp ở bảng 1. Có thể thấy, đối với vật liệu thân cây ngô, thành phần các nguyên tố chính ở bề mặt là C ($48,66\%$) và



Hình 4. Phổ FTIR của vật liệu (A); phổ hấp thụ của vật liệu quang nhiệt và vật liệu thân cây ngô (B); thay đổi nhiệt độ bề mặt theo thời gian (C); ảnh nhiệt của vật liệu đặt trong mặt trời nhân tạo (D).

O (51,34%), đây là các nguyên tố cấu thành cellulose hay hemi cellulose có trong vật liệu. Đối với vật liệu thân cây ngô - tannic, thành phần phần trăm khối lượng nguyên tố của C (51,17%) và O (48,83%) thay đổi so với vật liệu thân cây ngô là do có các phân tử axit tannic bám vào bề mặt. Từ bảng 1, chúng ta có thể xác định được thành phần nguyên tố Fe (0,11%) có trên bề mặt của vật liệu quang nhiệt. Kết quả này cùng với kết quả SEM của bề mặt vật liệu quang nhiệt (hình 2D) đã chỉ ra sự hình thành của phức giữa Fe³⁺ và nhóm OH của axit tannic ở bề mặt ngô, từ đó giúp cho bề mặt vật liệu chuyển sang màu đen [13].

Bảng 1. Thành phần nguyên tố của vật liệu.

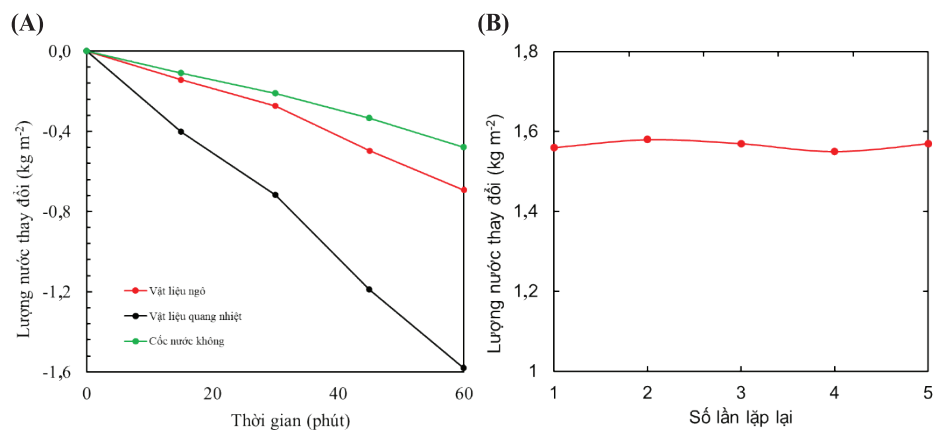
Vật liệu	Thành phần nguyên tố (%)		
	C	O	Fe
Vật liệu thân cây ngô	48,66	51,34	/
Vật liệu thân cây ngô - tannic	51,17	48,83	/
Vật liệu quang nhiệt	54,32	45,57	0,11

Độ hấp thụ của vật liệu được xác định từ kết quả đo độ truyền qua và phản xạ, tán xạ của vật liệu bằng sử dụng phương pháp phân tích quang phổ UV-VIS-NIR. Phổ hấp thụ của vật liệu thân cây ngô và vật liệu quang nhiệt với dải ánh sáng có bước sóng 300-2500 nm được thể hiện ở hình 4B. Có thể thấy, vật liệu thân cây ngô hầu như không hấp thụ ánh sáng ở dải bước sóng 300-1300 nm, độ hấp thụ nhỏ hơn 20%. Khi được phủ lớp phức chất giữa Fe³⁺ và axit tannic, độ hấp thụ của vật liệu quang nhiệt đạt trên 90% với ánh sáng ở dải bước sóng 300-1500 nm. Do năng lượng của ánh sáng mặt trời chủ yếu ở dải bước sóng 300-1500 nm, do đó có thể thấy vật liệu quang nhiệt chế tạo từ vật liệu thân cây ngô có khả năng hấp thụ ánh sáng mặt trời tốt cũng như được dự đoán có khả năng chuyển hóa thành nhiệt năng với hiệu suất cao. Khả năng chuyển hóa quang năng của vật liệu được kiểm chứng bằng cách đặt vật liệu dưới mặt trời nhân tạo trong thời gian 10 phút với cường độ ánh sáng 1 kW/m². Thay đổi nhiệt độ của bề mặt vật liệu được quan sát bằng camera hồng ngoại và được tổng hợp ở hình 4C. Trước khi chiếu sáng nhiệt độ bề mặt của vật liệu thân cây ngô và quang nhiệt khoảng 26,3°C.

Tuy nhiên sau khi chiếu sáng bằng mặt trời nhân tạo, nhiệt độ bề mặt của vật liệu quang nhiệt tăng nhanh. Sau 200 s nhiệt độ bề mặt đạt 60°C, sau đó nhiệt độ bề mặt tăng chậm lại và đạt nhiệt độ 63,2°C sau 600 giây. Khả năng gia tăng nhiệt độ nhanh ở bề mặt vật liệu quang nhiệt là do độ hấp thụ cao của vật liệu quang nhiệt với dải bước sóng 300-1500 nm (hình 4B). Ngược lại, do vật liệu thân cây ngô hầu như

không hấp thụ ánh sáng nên nhiệt độ bề mặt của vật liệu này không có nhiều thay đổi khi đặt trong điều kiện ánh sáng mặt trời nhân tạo. Nhiệt độ bề mặt của vật liệu thân cây ngô là 32,9°C sau 600 s chiếu sáng. Hình 4D là ảnh chụp nhiệt độ bề mặt theo thời gian của 2 loại vật liệu nêu trên. Kết quả này chỉ ra vật liệu quang nhiệt từ vật liệu thân cây ngô có khả năng chuyển hóa nhiệt lượng tốt và có thể sử dụng vào vật liệu quang nhiệt trong hệ bay hơi nước.

Kết quả đo khả năng bay hơi nước của các vật liệu nêu trên, hệ bay hơi như hình 2 đã được đặt trong mặt trời nhân tạo được tổng hợp ở hình 5A. Có thể thấy, với cốc nước không có vật liệu, sau 60 phút chiếu sáng với cường độ ánh sáng 1 kW/m² lượng nước giảm đi (bay hơi) là 0,48 kg m⁻² h⁻¹ (±0,1). Trong trường hợp cốc nước được đặt vật liệu thân cây ngô, có thể thấy lượng nước giảm đi tăng lên so với cốc nước không và khối lượng bay hơi là 0,69 kg m⁻² h⁻¹ (±0,1). Do năng lượng từ ánh sáng mặt trời chỉ làm bay hơi lượng nước nhỏ ở bề mặt ngô, nước này được đưa lên bề mặt qua hệ mao dẫn tự nhiên có trong thân ngô. Do đó, hiệu suất bay hơi cao hơn khi làm nóng toàn bộ bề mặt nước như trong trường hợp cốc không. Đối với hệ bay hơi nước sử dụng vật liệu quang nhiệt từ thân cây ngô, lượng nước bay hơi được tăng lên và đạt được 1,58 kg m⁻² h⁻¹ (±0,1). Chúng ta có thể thấy, lượng nước bay hơi này gấp 3,3 lần so với lượng nước của cốc không và 2,28 lần so với vật liệu thân cây ngô. Lượng nước bay hơi được nâng cao nhờ khả năng hấp thụ ánh sáng ở dải bước sóng rộng của vật liệu quang nhiệt, nhờ đó ánh sáng được chuyển hóa thành nhiệt. Nhiệt lượng này được giữ ở bề mặt vật liệu và làm bay hơi nước được đưa lên bề mặt qua hệ mao dẫn. Khả năng giữ nhiệt ở bề mặt vật liệu quang nhiệt từ vật liệu thân cây ngô tốt là do vật liệu thân cây ngô với cấu trúc xốp sẽ làm giảm độ dẫn nhiệt của vật liệu. Giúp cho nhiệt lượng chuyển hóa từ ánh sáng không bị mất đi nhiều do truyền nhiệt xuống môi trường nước. Đây là yếu tố rất quan trọng để nâng cao lượng bay hơi nước. Tính lặp lại được kiểm chứng bằng cách thực hiện thí nghiệm trong các ngày khác nhau với độ ẩm và nhiệt độ môi trường khác nhau (hình 5B). Có thể thấy, hiệu suất bay hơi nước của vật liệu duy trì trong khoảng 1,56-1,58 kg m⁻²



Hình 5. Hiệu suất bay hơi nước với các điều kiện khác nhau (A) và tính lặp lại của thí nghiệm (B).

$h^{-1} (\pm 0,1)$, sự thay đổi của hiệu suất bay hơi do độ ẩm trong các ngày là khác nhau. Kết quả này cho thấy, vật liệu quang nhiệt từ vật liệu thân cây ngô có thể duy trì hiệu suất bay hơi cao trong nhiều điều kiện khác nhau.

Hiệu suất chuyển hóa năng lượng mặt trời được tính bằng công thức sau [8-12]:

$$\eta_{eq} = \frac{\Delta m h_{LV}}{I} \quad (1)$$

trong đó, Δm là khối lượng bay hơi nước (g), được tính bằng hiệu khối lượng bay hơi dưới mặt trời nhân tạo và bay hơi trong điều kiện tối; h_{LV} là enthalpy cần để nước chuyển từ trạng thái lỏng sang trạng thái hơi (2400 J g^{-1}); I là năng lượng của ánh sáng mặt trời nhân tạo (J).

Lượng nước bay hơi trong điều kiện tối của hệ bay hơi với vật liệu quang nhiệt là $0,11 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1} (\pm 0,1)$. Do đó khi sử dụng công thức (1), hiệu suất chuyển hóa năng lượng của vật liệu quang nhiệt được tính là 98%. Kết quả này cho thấy, vật liệu quang nhiệt từ thân cây ngô có hiệu suất bay hơi là $1,58 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ và hiệu suất chuyển hóa năng lượng là 98%. Hiệu suất này tương đương hoặc cao hơn hiệu suất của các vật liệu quang nhiệt đã được công bố. Ngoài ra, quy trình bay hơi nước này được thực hiện trong 24 lần, vật liệu quang nhiệt duy trì hiệu suất bay hơi ổn định trong khoảng $1,56-1,58 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1} (\pm 0,1)$. Độ bền của vật liệu trong các điều kiện khác nhau cũng như khả năng lọc nước mặn thành nước sinh hoạt của hệ sẽ được kiểm chứng và báo cáo trong thời gian tới. Tuy nhiên, kết quả này cho thấy tiềm năng ứng dụng trong thực tế của vật liệu quang nhiệt từ ngô nhờ các lợi điểm như quy trình chế tạo đơn giản, giá thành rẻ và có thể chế tạo quy mô lớn.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã chế tạo thành công vật liệu quang nhiệt bằng phương pháp xử lý bề mặt vật liệu thân cây ngô lần lượt bằng dung dịch axit tannic và dung dịch Fe^{3+} . Nhờ đó, vật liệu có lớp hấp thụ ánh sáng dải rộng nhờ hạt phức giữa ion Fe^{3+} và nhóm OH của axit tannic với kích cỡ nm hình thành trên bề mặt vật liệu thân cây ngô. Bề mặt vật liệu thân cây ngô với cấu trúc xốp có kích cỡ μm khi kết hợp với lớp hấp thụ ánh sáng tăng khả năng hấp thụ ánh sáng mặt trời của vật liệu quang nhiệt. Bên cạnh đó, với hệ mao dẫn và cấu trúc xốp, vật liệu quang nhiệt từ thân cây ngô có khả năng dẫn nước ổn định và hệ số truyền nhiệt thấp. Các đặc tính này giúp cho hệ bay hơi nước sử dụng vật liệu có hiệu suất bay hơi lên đến $1,58 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ và hiệu suất chuyển hóa năng lượng lên đến 98%. Với quy trình chế tạo ổn định, đơn giản, sử dụng các vật liệu có giá thành rẻ và dễ dàng chuẩn bị khối lượng lớn, vật liệu quang nhiệt từ thân cây ngô cho thấy tiềm năng ứng dụng vào hệ lọc nước mặn thành nước sạch trong điều kiện thực tế.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Việt Nhật (Đại học Quốc gia Hà Nội) thông qua đề tài mã số VJU.JICA.21.03. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J.S. Albert, G. Destouni, S.M.D. Sylvester, et al. (2021), "Scientists' warning to humanity on the freshwater biodiversity crisis", *Ambio.*, **50(1)**, pp.85-94, DOI: 10.1007/s13280-020-01318-8.
- [2] T. Arunkumar, H.W. Lim, D. Denkenberger, et al. (2022), "A review on carbonized natural green flora for solar desalination", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **158**, DOI: 10.1016/j.rser.2022.112121.
- [3] M. Wang, P. Wang, J. Zhang, et al. (2019), "A ternary Pt/Au/TiO₂-decorated plasmonic wood carbon for high-efficiency interfacial solar steam generation and photodegradation of tetracycline", *Che. Sus. Chem.*, **12(2)**, pp.467-472, DOI: 10.1002/cssc.201802485.
- [4] F. He, M. Han, J. Zhang, et al. (2020), "A simple, mild and versatile method for preparation of photothermal woods toward highly efficient solar steam generation", *Nano Energy*, **71**, DOI: 10.1016/j.nanoen.2020.104650.
- [5] S. Cao, Q. Jiang, X. Wu, et al. (2019), "Advances in solar evaporator materials for freshwater generation", *J. Mater. Chem. A*, **7**, pp.24092-24123, DOI: 10.1039/C9TA06034K.
- [6] H. Liang, Q. Liao, N. Chen, et al. (2019), "Thermal efficiency of solar steam generation approaching 100% through capillary water transport", *Angew. Chem.*, **58(52)**, pp.19041-19046, DOI: 10.1002/anie.201911457.
- [7] I. Ibrahim, D.H. Seo, A.M. McDonagh, et al. (2021a), "Semiconductor photothermal materials enabling efficient solar steam generation toward desalination and wastewater treatment", *Desalination*, **500**, DOI: 10.1016/j.desal.2020.114853.
- [8] I. Ibrahim, V. Bhoopal, D.H. Seo, et al. (2021b), "Biomass-based photothermal materials for interfacial solar steam generation: A review", *Materialstoday Energy*, **21**, DOI: 10.1016/j.mtener.2021.100716.
- [9] X. Su, D. Hao, M. Sun, et al. (2021), "Nature sunflower stalk pith with zwitterionic hydrogel coating for highly efficient and sustainable solar evaporation", *Adv. Funct. Mater.*, **32(6)**, DOI: 10.1002/adfm.202108135.
- [10] T.T. Pham, T.H. Nguyen, T.A.H. Nguyen, et al. (2021), "Durable, scalable and affordable iron (III) based coconut husk photothermal material for highly efficient solar steam generation", *Desalination*, **518**, DOI: 10.1016/j.desal.2021.115280.
- [11] J. Liu, Q. Liu, D. Ma, et al. (2019), "Simultaneously achieving thermal insulation and rapid water transport in sugarcane stems for efficient solar steam generation", *J. Mater. Chem. A*, **15**, pp.9034-9039, DOI: 10.1039/C9TA00843H.
- [12] H. Gao, M. Yang, B. Dang, et al. (2020), "Natural phenolic compound-iron complexes: Sustainable solar absorbers for wood-based solar steam generation devices", *Royal Society of Chemistry*, **10**, pp.1152-1158, DOI: 10.1039/C9RA08235B.
- [13] R. Zhang, L. Li, J. Liu (2015), "Synthesis and characterization of ferric tannate as a novel porous adsorptive-catalyst for nitrogen removal from wastewater", *RSC Adv.*, **5**, pp.40785-40791, DOI: 10.1039/C5RA02035B.