

# Ảnh hưởng của quá trình xử lý hóa học với các tác nhân khác nhau lên hình thái và tính chất sợi chuối

Nguyễn Vũ Việt Linh\*

Khoa Khoa học Ứng dụng, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP Hồ Chí Minh

Ngày nhận bài 3/10/2022; ngày chuyển phản biện 6/10/2022; ngày nhận phản biện 27/10/2022; ngày chấp nhận đăng 2/11/2022

## Tóm tắt:

Sợi chuối là một trong những vật liệu thiên nhiên có thành phần cellulose cao được nghiên cứu ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như composite, giấy, túi lọc... Trong nghiên cứu này, hình thái và tính chất của sợi từ lá chuối sau khi xử lý với các tác nhân như  $H_2O$ ,  $NaOH$ ,  $H_2O_2$  ở các điều kiện khác nhau sẽ được khảo sát và đánh giá. Sự thay đổi về hình thái, kích thước và thành phần hóa học của sợi lá chuối được phân tích bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) và phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR). Kết quả SEM cho thấy, sau khi xử lý với các tác nhân hóa học, các vi sợi được phân tách khỏi các bó sợi chuối và đường kính sợi trung bình đạt  $34,3 \mu m$ . FTIR của các mẫu sợi sau xử lý cho thấy tác động của các tác nhân như  $H_2O$ ,  $NaOH$ ,  $H_2O_2$  lên thành phần hóa học của sợi. Sau khi xử lý với  $NaOH$  và  $H_2O_2$ , lignin, hemicellulose và các thành phần không phải cellulose đã được loại bỏ hầu hết trong sợi. Phần lignin còn lại có thể được sử dụng như chất kết dính khi chế tạo màng cellulose từ sợi chuối.

**Từ khóa:** cellulose, lá chuối, lignin, sợi chuối, xử lý hóa học.

**Chỉ số phân loại:** 2.4

## **Đặt vấn đề**

Hiện nay, các loại sợi nhân tạo như sợi thủy tinh, cacbon, aramid được sử dụng rộng rãi trên nền polymer với nhiều ưu điểm vượt trội nhờ trọng lượng nhẹ, độ cứng cao, khả năng chống mài mòn và khả năng hấp thụ năng lượng cao. Bên cạnh đó vẫn còn tồn tại các nhược điểm về khả năng phân hủy sinh học, khả năng tái tạo... [1]. Để khắc phục những hạn chế này, sợi tự nhiên được sử dụng như một nguồn tài nguyên thay thế cho các sợi tổng hợp nhằm giải quyết các tác động tiêu cực đến môi trường. Với ưu điểm như không tốn kém, nguồn tài nguyên tái tạo, thân thiện với môi trường, các loại thực vật, như lanh, bông, đay, dứa, tre..., được sử dụng rộng rãi trong vật liệu composite hiện nay [2, 3]... Trong số các loại sợi thiên nhiên, sợi chuối là một loại sợi hữu cơ có hàm lượng cellulose cao (khoảng 63-64%), lignin chiếm khoảng 5-7%, hemicellulose chiếm 19% và các thành phần khác [4, 5]. Bên cạnh đó, sợi chuối còn được sử dụng làm nguyên liệu thô trong ngành sản xuất giấy, túi trà, tiền tệ, đồ thủ công mỹ nghệ và trang trí. Vật liệu tổng hợp từ sợi chuối cũng được sử dụng trong tấm xây dựng và chống cháy [6]. Vật liệu composite gia cố sợi chuối bằng nhiệt rắn, phù hợp cho các ứng dụng công nghiệp ô tô và giao thông vận tải [7]. Các biến đổi và xử lý hóa học bề mặt sợi đã được nghiên cứu cùng với các điều kiện xử lý đối với vật liệu composite nền nhựa epoxy và polyester, được gia cường bằng sợi chuối. Các thử nghiệm uốn cho thấy vật liệu tổng hợp sợi chuối/polyester có độ bền uốn và mô đun cao hơn, do tương tác sợi/chất nền được cải thiện. Vật liệu composite sợi chuối/epoxy có độ bền uốn đạt  $34,99 \text{ MPa}$  và

cường độ nén là  $122,11 \text{ MPa}$  khi được xử lý trước kiểm, với khả năng chống phơi nhiễm môi trường cao [8]. Sợi chuối từ thân cây cũng được nghiên cứu chế tạo khẩu trang kháng khuẩn vì khả năng phân hủy sinh học và cơ tính phù hợp. Khẩu trang từ sợi thân chuối có khả năng lọc các phân tử khí có hại, tính năng lọc hiệu quả, không có tác dụng phụ liên quan đến hô hấp như dị ứng, khó thở [9].

Trong nghiên cứu này, hình thái và tính chất của sợi từ lá chuối khi xử lý với nhiều tác nhân khác nhau như nước nóng,  $NaOH$ ,  $H_2O_2$  đã được khảo sát. Ngoài thành phần chính là cellulose, thành phần lignin có trong sợi lá chuối có vai trò như chất kết dính khi tạo màng sợi cellulose. Kết quả nghiên cứu cho thấy tiềm năng ứng dụng của màng sợi chuối để chế tạo các sản phẩm thân thiện môi trường do sử dụng hoàn toàn thành phần sợi thiên nhiên.

## **Nguyên liệu và phương pháp nghiên cứu**

### *Nguyên liệu*

Lá chuối nguồn gốc Bến Tre, Việt Nam.  $NaOH$  rắn, độ tinh khiết 98% và dung dịch  $H_2O_2$  30% được cung cấp bởi Hãng Xilong, Trung Quốc. Nước cất được chế tạo từ thiết bị chưng cất Stuart A4000D - Aquatech Water Still, Mỹ.

### *Phương pháp nghiên cứu*

*Xử lý sợi lá chuối bằng phương pháp hóa học:* Lá chuối xanh sau khi thu gom từ vườn được làm sạch với nước và phơi khô. Tiếp theo cho 30 g lá chuối khô vào 600 ml nước được gia nhiệt ở  $100^\circ C$  trong 60 phút, nhằm loại bỏ tạp chất có trong lá chuối. Sau khi xử lý với nước, pha 500 ml dung

\*Email: linhnv@hcmute.edu.vn

# Effects of the chemical treatment process with different agents on the morphology and properties of banana fibres

Vu Viet Linh Nguyen\*

Faculty of Applied Sciences,  
Ho Chi Minh city University of Technology and Education

Received 3 October 2022; accepted 2 November 2022

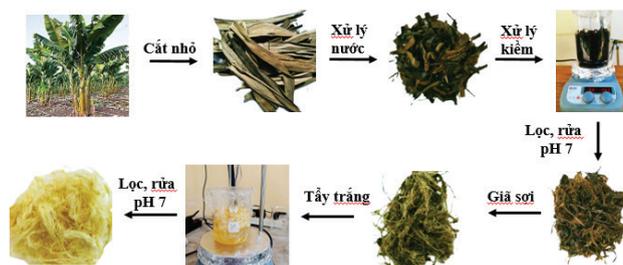
## Abstract:

Banana fibre is one of the natural materials with high cellulose content that has been studied and applied in various fields such as composites, paper, filter bags... This study investigated and evaluated the morphology and properties of banana leaf fibres after being treated with agents such as water, NaOH, and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> under different conditions. The changes in morphology, size, and chemical composition of banana fibres were analysed by scanning electron microscopy (SEM) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) methods. The SEM results showed that the cellulose microfibrils were separated from banana fibres after treating with these chemical agents, and the average diameter obtained 34.3 μm. After treatment, the FTIR spectra of the samples showed that these agents removed lignin, hemicellulose and non-cellulose components in the fibres. After treatment with NaOH and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, lignin, hemicellulose and non-cellulose components were mostly removed from the fiber. The remaining lignin can be used as a binder for cellulose film based on banana leaves fibres.

**Keywords:** banana fibre, banana leaf, cellulose, chemical treatment, lignin.

**Classification number:** 2.4

dịch NaOH (ở các nồng độ khảo sát khác nhau là 0,5, 1 và 1,5%) và gia nhiệt đến 100°C, tiếp theo cho 30 g lá chuối đã xử lý với nước vào. Sau khi duy trì nhiệt độ xử lý 100°C trong 100 phút, sợi chuối được rửa nhiều lần với nước cho đến khi đạt pH 7. Tiếp theo, lá chuối được đem đi giã với chày và cối, lượng mẫu cho mỗi lần giã là 15 g, tiến hành giã trong 5 phút. Sau đó, sợi giã được cho vào 100 ml dung dịch H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (5, 10 và 15%) ở nhiệt độ 80°C trong vòng 45 phút. Các mẫu lá chuối được xử lý ở các điều kiện khác nhau có ký hiệu như bảng 1. Sau khi xử lý xong với H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> lọc rửa mẫu nhiều lần với nước cho đến khi pH 7 (hình 1).



Hình 1. Quy trình xử lý sợi chuối.

Bảng 1. Các mẫu lá chuối được xử lý với các tác nhân hóa học khác nhau.

Ký hiệu mẫu	Nước	Dung dịch NaOH C% (%)	Dung dịch H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> C% (%)
M	Nước 100°C		
Na0,5	Nước 100°C	0,5	
Na1	Nước 100°C	1	
Na1,5	Nước 100°C	1,5	
Na1H5	Nước 100°C	1	5
Na1H10	Nước 100°C	1	10
Na1H15	Nước 100°C	1	15

Quan sát hình thái bề mặt và kích thước sợi: SEM (TM400 plus, Nhật Bản) được sử dụng để quan sát hình thái bề mặt các mẫu dạng sợi trước và sau khi xử lý với hóa chất. Hình ảnh SEM được xử lý và tính toán đường kính sợi dựa trên phần mềm ImageJ và Minitab.

**Phân tích thành phần hóa học của sợi chuối:** FTIR (NICOLET 6700, Thermo Scientific, Mỹ) được sử dụng để kiểm tra thành phần hóa học của các mẫu sợi trước và sau khi xử lý với các tác nhân như nước nóng 100°C, dung dịch NaOH và H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> trong vùng số sóng 400-4000 cm<sup>-1</sup>.

**Đánh giá độ ẩm sợi chuối:** được thực hiện dựa trên phương pháp sấy khô theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 1867:2001.

Hàm lượng ẩm (M, % khối lượng) được xác định theo công thức:

$$M = \frac{m_1 - m_0}{m_1} \times 100 \%$$

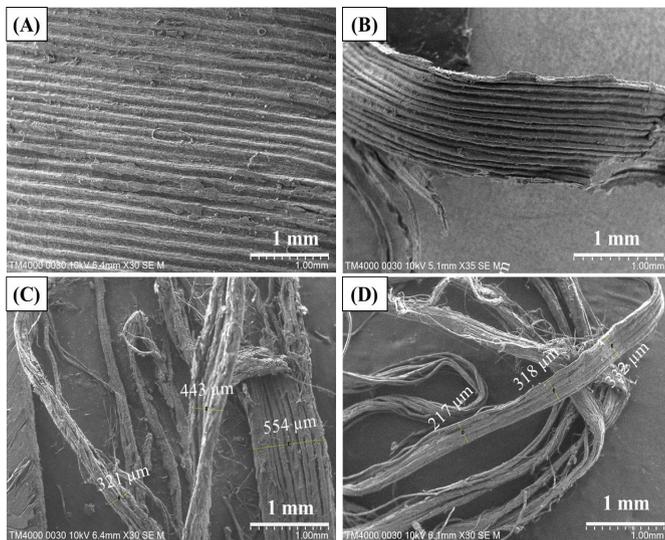
trong đó: m<sub>1</sub> là khối lượng của mẫu thử trước khi sấy (g); m<sub>0</sub> là khối lượng mẫu thử sau khi sấy (g).

## Kết quả và bàn luận

### Ảnh hưởng của nồng độ NaOH lên hình thái sợi

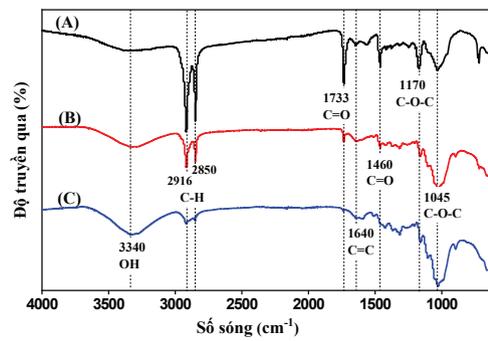
Ảnh SEM cho thấy, ở nồng độ NaOH thấp (0,5%) thì các bó sợi chưa được tách ra do còn nhiều lignin và

hemicellulose, so với mẫu sợi chuối thô thì không có sự thay đổi về hình thái (hình 2A và 2B). Khi tăng nồng độ NaOH lên 1 và 1,5% thì các bó sợi đã tách ra và xuất hiện một số vi sợi, nguyên nhân là do NaOH đã loại bỏ chất kết dính sợi là lignin. Ngoài ra, đường kính trung bình của sợi chuối giảm dần từ 215 xuống còn 188  $\mu\text{m}$  khi nồng độ dung dịch NaOH tăng dần từ 1 lên 1,5% (hình 2C và 2D). Điều này được giải thích là do quá trình xử lý với NaOH, sợi chuối đã được loại bỏ các thành phần như lignin, pectin, hemicellulose nên đường kính sợi chuối đã bị giảm.



Hình 2. Ảnh SEM của mẫu sợi chuối thô (A) và sợi xử lý với dung dịch NaOH ở các nồng độ khác nhau 0,5% (B), 1% (C) và 1,5% (D).

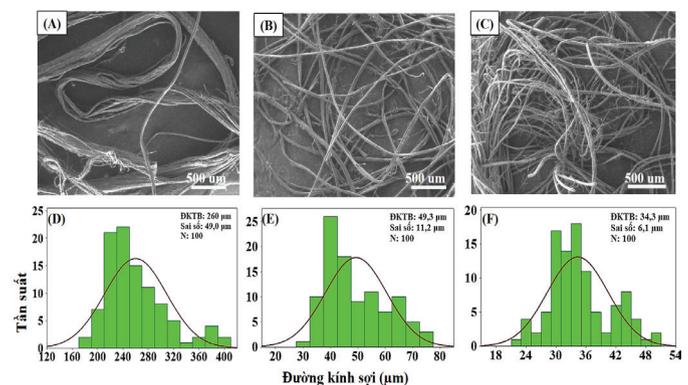
Kết quả hình 3 cho thấy, ở vị trí đỉnh 3500-3100  $\text{cm}^{-1}$  đặc trưng cho dao động kéo giãn của nhóm O-H có trong cấu trúc của cellulose và hemicellulose. Đỉnh tại vị trí 2916 và 2850  $\text{cm}^{-1}$  đặc trưng cho dao động kéo giãn đối xứng và không đối xứng của C-H trong nhóm  $\text{CH}_2$  của cellulose và hemicellulose. Ở vị trí khoảng 1733  $\text{cm}^{-1}$  đặc trưng cho dao động giãn của nhóm ester C=O và vị trí 1460  $\text{cm}^{-1}$  đặc trưng cho dao động kéo giãn C=O của nhóm acetyl có trong hemicellulose đã suy giảm khi nồng độ NaOH tăng từ 0,5 lên 1,5%. Tại các đỉnh đặc trưng cho lignin như vị trí 1640 và 1170  $\text{cm}^{-1}$  có sự suy giảm cường độ khi tăng nồng độ NaOH xử lý sợi từ 0,5, 1 đến 1,5%. Ở vị trí 1640  $\text{cm}^{-1}$  đặc trưng dao động kéo giãn C=C trong vòng thơm của lignin, ở vị trí 1170  $\text{cm}^{-1}$  đặc trưng cho cho nhóm C-O-C trong lignin [10, 11]. Đỉnh tại vị trí 1045  $\text{cm}^{-1}$  đặc trưng cho nhóm C-O có trong cellulose tăng cường độ vì tạp chất trong sợi được loại bỏ một phần. Như vậy, ở giai đoạn xử lý này đã loại bỏ 1 phần lignin và hemicellulose, vì vậy sẽ tiếp tục đến giai đoạn xử lý với  $\text{H}_2\text{O}_2$  để loại bỏ tạp chất tiếp tục.



Hình 3. Phổ FTIR của sợi chuối xử lý với NaOH ở các nồng độ khác nhau: 0,5% (A), 1% (B) và 1,5% (C).

### Ảnh hưởng của nồng độ $\text{H}_2\text{O}_2$ lên hình thái sợi

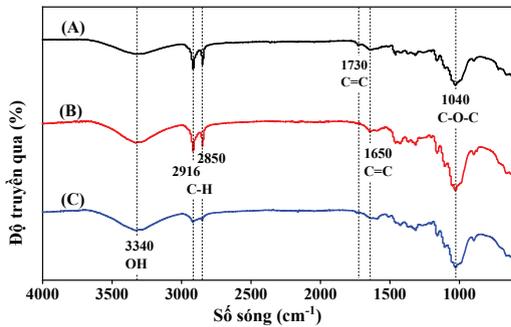
Ảnh SEM của sợi chuối qua quá trình xử lý với các dung dịch NaOH/ $\text{H}_2\text{O}_2$  cho thấy kích thước sợi giảm so với sợi thô và sợi xử lý NaOH. Điều này được giải thích là do quá trình xử lý NaOH/ $\text{H}_2\text{O}_2$  với sợi chuối đã giúp loại bỏ các phần vô định hình trong sợi như lignin, pectin, hemicellulose nên đường kính sợi chuối đã bị giảm kích thước (hình 4A-C). Sau khi xử lý với NaOH/ $\text{H}_2\text{O}_2$  5% các sợi cellulose bắt đầu được tách ra khỏi các bó sợi lớn, tăng nồng độ lên 10% thì các bó sợi tách ra riêng lẻ, lúc này kích thước sợi giảm từ 260 xuống 49,3  $\mu\text{m}$  (hình 4A, 4B, 4D và 4F). Khi tăng nồng độ  $\text{H}_2\text{O}_2$  xử lý lên 15% thì nhìn thấy các vi sợi cellulose được tách dần ra từ các sợi ngày càng nhiều, kích thước vi sợi đạt 34,3  $\mu\text{m}$  (hình 4C và 4F). Có thể giải thích là do khi xử lý với  $\text{H}_2\text{O}_2$  thấp chưa đủ để loại bỏ nhiều hemicellulose và lignin là chất kết dính trong các bó sợi, khi xử lý sợi với nồng độ NaOH/ $\text{H}_2\text{O}_2$  cao (10-15%) thì loại bỏ hemicellulose và lignin trong nhiều bó sợi hơn. Tuy nhiên, khi xử lý với nồng độ NaOH/ $\text{H}_2\text{O}_2$  15% hoặc cao hơn trong thời gian lâu sẽ tác động không tốt cho sợi, dẫn đến sợi yếu và giòn [12, 13].



Hình 4. Ảnh SEM (A-C) và đồ thị phân bố kích thước sợi (D-F) các mẫu xử lý với dung dịch NaOH/ $\text{H}_2\text{O}_2$  ở nồng độ  $\text{H}_2\text{O}_2$  khác nhau: 5% (A và D), 10% (B và E) và 15% (C và F).

FTIR của sợi sau quá trình xử lý với  $\text{H}_2\text{O}_2$  cho thấy, khi tăng nồng độ thì thành phần tạp chất và hemicellulose bị loại bỏ hiệu quả hơn. Có thể thấy, các đỉnh đặc trưng cho

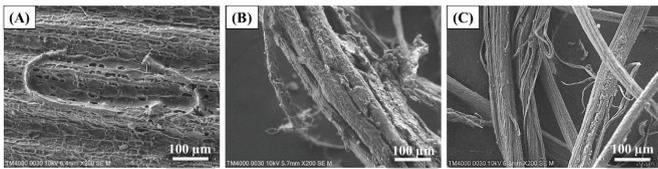
hemicellulose tại vị trí 2916 và 2850  $\text{cm}^{-1}$  đặc trưng cho dao động kéo giãn C-H trong nhóm  $\text{CH}_2$ ; vị trí 1730  $\text{cm}^{-1}$  đặc trưng cho dao động giãn của nhóm C=O đã suy giảm dần và một số đỉnh biến mất khi xử lý ở nồng độ  $\text{H}_2\text{O}_2$  cao. Đỉnh tại vị trí 1642  $\text{cm}^{-1}$  đặc trưng cho liên kết C=C trong vòng thơm của lignin đã suy giảm dần khi tăng nồng độ  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Đỉnh tại vị trí khoảng 1040  $\text{cm}^{-1}$  đặc trưng cho dao động giãn C-O-C của cấu trúc cellulose đã xuất hiện rõ hơn vì tạp chất trong mẫu bị loại bỏ (hình 5). Như vậy, khi hỗn hợp mẫu xử lý NaOH và  $\text{H}_2\text{O}_2$  đã làm sạch hầu hết hemicellulose, sáp và một phần lignin.



Hình 5. Phổ FTIR của sợi xử lý với  $\text{H}_2\text{O}_2$  với nồng độ 5% (A), 10% (B) và 15% (C).

**Ảnh hưởng của quá trình xử lý sợi với các tác nhân khác nhau lên hình thái, thành phần hóa học và độ ẩm của sợi chuối**

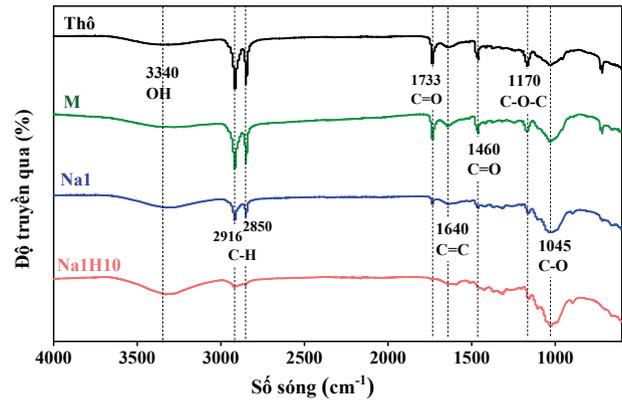
Ảnh SEM cho thấy, lá chuối sau khi xử lý với  $\text{H}_2\text{O}$  nóng vẫn chưa tách ra thành các bó sợi riêng lẻ mà kết dính bởi các thành phần như sáp, hemicellulose và lignin (hình 6A). Khi xử lý tiếp tục với dung dịch NaOH thì bắt đầu có xuất hiện các bó sợi nhỏ nhưng các bó sợi này chỉ được tách một phần, chưa được tách ra khỏi sợi lớn hoàn toàn (hình 6B). Các bó sợi nhỏ xuất hiện càng nhiều khi xử lý sợi tiếp tục với  $\text{H}_2\text{O}_2$  do các thành phần như hemicellulose, lignin gắn kết các bó sợi bị loại bỏ càng nhiều (hình 6C).



Hình 6. Ảnh SEM của mẫu lá (sợi) chuối sau khi xử lý với các dung dịch nước (A), nước/NaOH (B) và nước/NaOH/ $\text{H}_2\text{O}_2$  (C).

Phổ FTIR của các mẫu sợi chuối xử lý với các tác nhân khác nhau thể hiện đỉnh hấp thụ của nhóm O-H ở vị trí khoảng 3500-3300  $\text{cm}^{-1}$ , liên kết C-H của nhóm  $\text{CH}_2$  khoảng 2850-2950  $\text{cm}^{-1}$  và nhóm C-O ở khoảng 1045  $\text{cm}^{-1}$ , các nhóm này đặc trưng cho thành phần cellulose và tương tự nhau ở tất cả các mẫu (hình 7). Điều này chứng tỏ, cellulose vẫn giữ được cấu trúc hóa học qua các quá trình xử lý hóa

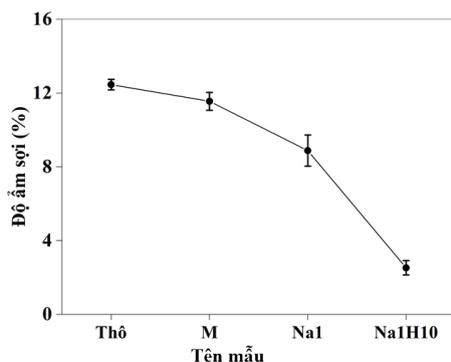
học [14]. Tuy nhiên, đỉnh đặc trưng cho dao động kéo giãn đối xứng và bất đối xứng của C-H trong hemicellulose tại vị trí 2916 và 2850  $\text{cm}^{-1}$  cũng đã suy giảm dần tương ứng với các mẫu M, Na1 và Na1H10. Các đỉnh đặc trưng cho dao động kéo giãn C=O của nhóm carbonyl, carboxylic và acetyl có trong cấu trúc hemicellulose tại vị trí 1733 và 1460  $\text{cm}^{-1}$  thể hiện rõ ở mẫu ở sợi chuối thô và mẫu xử lý với  $\text{H}_2\text{O}$  (M), sau đó đỉnh suy giảm dần khi xử lý với dung dịch NaOH (Na1) và biến mất đối với mẫu Na1H10. Điều này chứng tỏ, hemicellulose được loại bỏ dần qua các quá trình xử lý sợi với các dung dịch gồm nước, NaOH,  $\text{H}_2\text{O}_2$  [10, 11, 15]. Ngoài ra, các đỉnh tại vị trí 1640  $\text{cm}^{-1}$  đặc trưng cho liên kết C=C trong vòng thơm và 1170  $\text{cm}^{-1}$  đặc trưng cho liên kết C-O-C của lignin suy giảm dần sau khi xử lý với nước nóng, NaOH và  $\text{H}_2\text{O}_2$  (hình 7). Điều này chứng tỏ, quá trình loại bỏ lignin ra khỏi sợi cellulose, tuy nhiên không hoàn toàn, trong sợi vẫn còn 1 lượng nhỏ lignin [10]. Kết quả này phù hợp với định hướng chế tạo màng sợi cellulose phân hủy sinh học từ sợi lá chuối và một phần lignin còn lại có thể làm chất kết dính.



Hình 7. Phổ FTIR các mẫu sợi chuối thô, M, Na1, Na1H10.

Kết quả hình 8 cho thấy, độ ẩm (hay hàm lượng ẩm) của các mẫu sợi ban đầu và sau khi xử lý hóa học với các tác nhân như nước, NaOH,  $\text{H}_2\text{O}_2$  giảm dần từ 12,45 xuống còn 2,52 %. Kết quả này cho thấy, khả năng hấp thụ nước của sợi chuối qua các giai đoạn xử lý với tác nhân giảm. Điều này được giải thích dựa trên bản chất và khả năng hấp thụ nước của các thành phần có trong sợi lá chuối là cellulose, hemicelluloses, lignin, pectin, sáp. Cellulose là một polysaccharide bán tinh thể được tạo thành từ các đơn vị D-glucopyranose được liên kết với nhau bằng các liên kết  $\beta$ -(1-4)-glycosidic và một lượng lớn nhóm hydroxyl trong cellulose mang lại đặc tính ưa nước sợi tự nhiên [12]. Hemicellulose được liên kết chặt chẽ với các sợi cellulose bởi các liên kết hydro. Do cấu trúc mở của nó chứa nhiều nhóm hydroxyl và acetyl, hemicellulose hòa tan một phần trong nước và hút ẩm. Lignin là các polyme vô định hình, cấu trúc phức tạp, chủ yếu là vòng thơm của các đơn vị phenylpropane, vì vậy là thành phần không thấm nước trong

sợi tự nhiên. Để hướng đến ứng dụng làm khâu trang phân hủy sinh học, sợi chuối cần được xử lý để giảm khả năng hút ẩm (độ ẩm) của chúng. Để giảm khả năng hút ẩm trong sợi chuối cần giảm nhóm hydroxyl có trong sợi bằng các phương pháp hóa học với dung dịch NaOH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> để xử lý nhằm thay đổi bề mặt và giảm các thành phần hóa học bên trong sợi [16].



Hình 8. Độ ẩm của các mẫu sợi chuối sau khi xử lý hóa học với các dung dịch.

### Kết luận

Kết quả hình thái, thành phần hóa học và khả năng hấp thụ nước của sợi từ lá chuối sau khi xử lý với các tác nhân như nước, NaOH và H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> chứng tỏ tác động của các tác nhân này lên từng thành phần trong sợi như sáp, hemicellulose, cellulose và lignin. Sau khi xử lý với nước các tạp chất, sáp và thành phần tan trong nước bị loại bỏ. Các tác nhân hóa học NaOH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sẽ làm giảm đi hàm lượng lignin, hemicellulose trong sợi, trong đó H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> có khả năng tẩy trắng sợi loại bỏ phần lớn lignin trong cấu trúc sợi. Sau khi xử lý với dung dịch NaOH và H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, sợi cellulose từ lá chuối thu được có đường kính trung bình 34,3 μm và độ ẩm sợi giảm đạt 2,52%. Phần lignin còn lại sẽ đóng vai trò chất kết dính khi chế tạo màng sợi cellulose từ lá chuối trong các nghiên cứu tiếp theo.

### LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP Hồ Chí Minh đã hỗ trợ cơ sở vật chất để hoàn thành nghiên cứu này.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] S. Shahinur, M. Hasan (2020), "Natural fiber and synthetic fiber composites: Comparison of properties, performance, cost and environmental benefits", *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, **2**, pp.794-802.

[2] M. Ramesh, et al. (2013), "Mechanical property evaluation of sisal-jute-glass fiber reinforced polyester composites", *Composites Part B: Engineering*, **48**, pp.1-9.

[3] A. Bismarck, et al. (2005), *Plant Fibers as Reinforcement for Green Composites (in Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites)*, CRC Press.

[4] A. Mandal, D. Chakrabarty (2011), "Isolation of nanocellulose from waste sugarcane bagasse (SCB) and its characterization", *Carbohydrate Polymers*, **86** (3), pp.1291-1299.

[5] L. Hu, M. Du, J. Zhang (2018), "Hemicellulose-based hydrogels present status and application prospects: A brief review", *Open Journal of Forestry*, **8**(1), pp.15-28.

[6] A. Shandilya, A. Gupta, D. Verma (2016), *Banana Fiber Reinforcement and Application in Composites (in Green Approaches to Biocomposite Materials Science and Engineering)*, IGI Global, pp.201-227.

[7] C.P. Unnikrishnan (2009), "Mechanical properties of reinforced banana fibre/bio-fibre hybrid polymer composites on review", *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, **7**(10), pp.898-905.

[8] N. Venkateshwaran, A. Elayaperumal (2010), "Banana fiber reinforced polymer composites - A review", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, **29**(15), pp.2387-2396.

[9] Bibaswan Sen, et al. (2020), "Development of novel respiratory face masks prepared from banana stem fiber against bio-aerosols: An eco-friendly approach", *Letters in Applied NanoBioScience*, **10** (1), pp.1993-2002.

[10] S.N. Monteiro, et al. (2014), "Characterization of banana fibers functional groups by infrared spectroscopy", *Materials Science Forum*, **775-776**, pp.250-254.

[11] A. Parre, et al. (2020), "Investigation of chemical, thermal and morphological properties of untreated and NaOH treated banana fiber," *Materials Today: Proceedings*, **22**, pp.347-352.

[12] X. Li, et al. (2007), "Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: A review", *Journal of Polymers and the Environment*, **15**(1), pp.25-33.

[13] C. Deepa, M. Ramesh (2022), "Banana fibers, their composites and applications", *Plant Fibers, Their Composites, and Applications*, pp.161-180.

[14] C. Asasutjarit, et al. (2009), "Materials and mechanical properties of pretreated coir-based green composites", *Composites Part B: Engineering*, **40**(7), pp.633-637.

[15] J.L. Guimarães, et al. (2009), "Characterization of banana, sugarcane bagasse and sponge gourd fibers of Brazil", *Industrial Crops and Products*, **30**(3), pp.407-415.

[16] A. Chaker, et al. (2014), "Agriculture crop residues as a source for the production of nanofibrillated cellulose with low energy demand", *Cellulose* **21**(6), pp.4247-4259.