

NGHIÊN CỨU KỸ THUẬT LÀM GIÀU CELLULOSE TRONG PHỤ PHẨM CÂY KHÓM (*ANANAS COMOSUS* (L.) MERR.)

STUDY ON CELLULOSE INCREASING METHODS FOR IN PINEAPPLE WASTE (*ANANAS COMOSUS* (L.) MERR.)

Nguyễn Thị Bích Thuyền, Cao Lưu Ngọc Hạnh, Đặng Hồng Sen, Lai Hồng Phong, Ngô Thế Vinh

Trường Đại học Cần Thơ; ntbthuyen@ctu.edu.vn, clnhanh@ctu.edu.vn, senB1507026@student.ctu.edu.vn, phongB1507021@student.ctu.edu.vn, vinhm3817009@gstudent.ctu.edu.vn

Tóm tắt - Để quá trình chuyển hóa ethanol đạt hiệu suất cao đòi hỏi nguồn nguyên liệu chứa hàm lượng cellulose cao và phải ít lignin, do đó quá trình tiền xử lý là rất cần thiết để loại bỏ lignin. Trong nghiên cứu này, quá trình tiền xử lý phụ phẩm cây khóm được khảo sát các thông số ảnh hưởng lên khả năng làm giàu cellulose và loại bỏ lignin bằng NaOH và H₂SO₄, bao gồm: Nồng độ hóa chất (0,5-7%), thời gian (20-60 phút) và nhiệt độ phản ứng (30-100°C). Kết quả cho thấy, điều kiện tối ưu của quá trình là xử lý với H₂SO₄ 2%, thời gian 30 phút và nhiệt độ 30°C. Ở điều kiện này, 38% lignin bị loại và hiệu suất làm giàu cellulose đạt 97,4%. Tác động của phương pháp tiền xử lý lên thành phần và cấu trúc của mẫu trước và sau xử lý được phân tích bằng phương pháp DNS, TGA, FTIR và SEM.

Từ khóa - Cellulose; tiền xử lý; ethanol sinh học; phụ phẩm cây khóm.

1. Đặt vấn đề

Thế giới ngày nay, trong đó có Việt Nam đang đối mặt với vấn đề cạn kiệt nhiên liệu hóa thạch (than đá, dầu mỏ...). Ước tính nguồn nhiên liệu này sẽ cạn kiệt trong vài thập kỷ tới [1], do đó việc tìm kiếm những nguồn năng lượng thay thế là nhiệm vụ cấp thiết. Vì thế, vào những năm 2000, con người đã dùng biện pháp chuyển những cây có hạt, bột và đường (vật liệu thế hệ 1) thành nhiên liệu [2]. Tuy nhiên, việc này đã gây ra sự tranh cãi gay gắt về cạnh tranh nguồn lương thực. Do vậy, nguồn nguyên liệu thế hệ 2 đang thu hút sự quan tâm do nó sẵn có và tận dụng từ phế phẩm công nông nghiệp (vật liệu lignocellulose) [3, 4]. Trong số nguồn sinh khối đó thì phụ phẩm cây khóm đang được thế giới nghiên cứu sản xuất ethanol. Mục tiêu của những nghiên cứu này là chuyển hóa sinh khối của khóm thành nhiên liệu sinh học để thay thế nhiên liệu hóa thạch đang bị cạn kiệt. Để làm được sự chuyển hóa này thì 3 giai đoạn chính cần được thực hiện: (1) Tiền xử lý mẫu; (2) Thủy phân và (3) lên men thành ethanol. Trong số những bước này thì giai đoạn (1) là giai đoạn thách thức vì cấu trúc bền của lignocellulose rất khó bị phân hủy ở điều kiện thông thường [5]. Do đó, giai đoạn xử lý là tất yếu được thực hiện để loại bỏ lignin vì nó là rào cản cho giai đoạn thủy phân [6].

Ở nước ta, khóm được trồng từ Bắc đến Nam với diện tích 40000 ha trong đó 90% diện tích tập trung ở các địa phương vùng Đồng bằng Sông Cửu Long như Tiền Giang (14800 ha), Kiên Giang (10000 ha), Hậu Giang (gần 1600 ha), Long An (1000 ha) với tổng sản lượng trên 500 ngàn tấn/năm [7]. Tuy nhiên, cây khóm chỉ có trái là được sử dụng, phần phụ phẩm là rễ, thân, lá và vỏ quả khóm là phần bị bỏ đi. Theo những công trình nghiên cứu ngoài nước, thì phụ phẩm khóm có khả năng chuyển hóa thành ethanol sinh học [8, 9]. Do đó, nhóm tác giả nghiên cứu cách tiếp cận phương

Abstract - In order to get high efficiency of ethanol conversion, the sample requires high cellulose content and less lignin. Therefore, pretreatment is necessary to remove lignin. In this study, pretreatment of pineapple waste studies parameters which affects cellulose recovery and lignin removal by NaOH and H₂SO₄ including: Chemical concentration (0,5-7%), time (20-60 minutes) and reaction temperature (30-100°C). The results show that the optimal conditions of the process are 2% of H₂SO₄, 30 minutes and temperature of 30°C. Under these conditions, 38% of lignin is removed and the cellulose enrichment efficiency is 97.4%. The impact of pretreatment on the composition and structure of samples is analyzed by DNS, TGA, FTIR and SEM.

Key words - Cellulose; pretreatment; bioethanol; pineapple waste.

pháp chuyển hóa cellulose trong phụ phẩm khóm thành ethanol sinh học, giai đoạn đầu của quá trình chuyển hóa là làm giàu cellulose và loại bỏ lignin trong giai đoạn xử lý mẫu.

2. Phương pháp nghiên cứu

Nguyên liệu là phụ phẩm cây khóm (phần thân cây sau khi thu hoạch trái) được lấy ở ruộng khóm thuộc Ngã Bảy tỉnh Hậu Giang. Mẫu được rửa sạch, cắt nhỏ khoảng 2 cm và sấy ở 60°C đến trọng lượng không đổi (Hình 1).



Hình 1. Phụ phẩm khóm: (a) thân cây khô; (b) thân xay nhỏ

Lấy 1 g mẫu khô nghiền nhỏ ở kích cỡ khoảng 1,5 mm đem xử lý với 10 mL dung dịch H₂SO₄ và NaOH. Mẫu xử lý được khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến thành phần lignocellulose trong bã rắn và đường khử trong dịch lỏng với các thông số: Thời gian (20-60 phút), nồng độ hóa chất (0,5%-7%) và nhiệt độ phản ứng (30-100°C).

Sau khi kết thúc quá trình phản ứng, tách phần bã rắn và phần dung dịch bằng phương pháp lọc, trung hòa bằng nước đến pH = 7. Phần bã được sấy đến khối lượng không đổi và phân tích sự thay đổi thành phần cũng như cấu trúc bằng các kỹ thuật TGA (Thermal gravimetric analysis), FTIR (Fourier-transform infrared spectroscopy) và SEM (Scanning electron microscope) [3, 10]. Phần dịch lỏng được phân tích lượng đường khử bằng phương pháp DNS

(Dinitrosalicylic acid) [10].

2.1. Phân tích nhiệt TGA

5–7 mg mẫu được cho vào cốc chứa mẫu, thực hiện phân tích trên máy TGA Q500-V20 với khoảng nhiệt độ 30–800°C và tốc độ tăng nhiệt 10°C/phút. Trong quá trình tăng nhiệt độ, các quá trình lý hóa xảy ra trong mẫu đo dẫn tới sự thay đổi khối lượng của nó, sự thay đổi này nhờ các cảm biến khối lượng chuyển tín hiệu về máy tính để lưu trữ và chuyển đổi thành phần trăm khối lượng của vật liệu bị mất đi. Cellulose và hemicellulose sẽ bị mất khối lượng ở 200–350°C, từ 350–500°C là sự mất khối lượng của lignin [5, 10].

2.2. Phân tích phổ hấp thụ hồng ngoại FTIR

Các nhóm chức trong mẫu được xác định trên máy PerkinElmer, mẫu được trộn và nén thành viên bằng KBr. Phổ đo thu được có bước sóng từ 4000–500 cm^{-1} ở độ phân giải 4 cm^{-1} với 40 lần quét/mẫu.

2.3. Kính hiển vi điện tử quét – SEM

Để quan sát sự thay đổi cấu trúc mẫu trước và sau xử lý, kỹ thuật SEM được thực hiện trên máy Hitachi S-4800 ở điện áp 15–20 kV.

2.4. Phân tích đường khử bằng DNS

Phương pháp này dựa trên cơ sở phản ứng tạo màu giữa đường khử với thuốc thử acid dinitrosalicylic (DNS), đo ở bước sóng 510 nm. Dựa theo đồ thị đường chuẩn của glucose tinh khiết với thuốc thử DNS tính được hàm lượng đường khử của mẫu nghiên cứu [10].

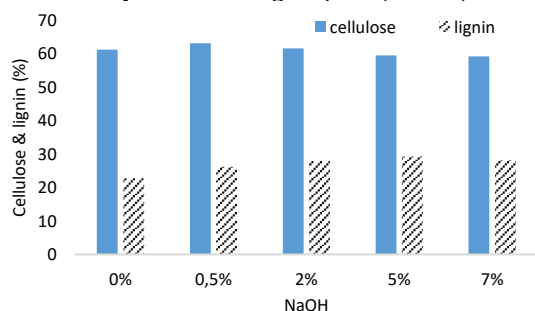
3. Kết quả và thảo luận

Kết quả phân tích nhiệt TGA (Hình 7) cho biết, thành phần trong mẫu khóm ban đầu có 7,3% chất bay hơi (ở 30–160°C), 61,6% cellulose (200–390°C) và 22,7% lignin (390–600°C). Kết quả phân tích này tương đồng với những nghiên cứu trước đây trên cây trà và lục bình [3, 5, 10]. Với hàm lượng cellulose cao (chiếm 61,6% trong hỗn hợp) cho thấy khả năng chuyển hóa thành ethanol cao. Tuy nhiên, một lượng lớn lignin (22,7%) trong mẫu sẽ gây ra một trở ngại lớn đối với quá trình thủy phân và làm giảm hiệu suất chuyển hóa. Do đó, bước xử lý nhằm giảm thiểu hàm lượng lignin nhưng bảo tồn hoặc làm giàu cellulose là cần thiết.

3.1. Tối ưu hóa hàm lượng cellulose trong mẫu khóm

3.1.1. Ảnh hưởng của NaOH lên thành phần lignocellulose trong thân khóm

Thí nghiệm này khảo sát sự tác động của nồng độ NaOH (0,5 - 7%) lên thành phần hóa học trong mẫu khóm ở nhiệt độ xử lý là 30°C trong 30 phút (Hình 2).

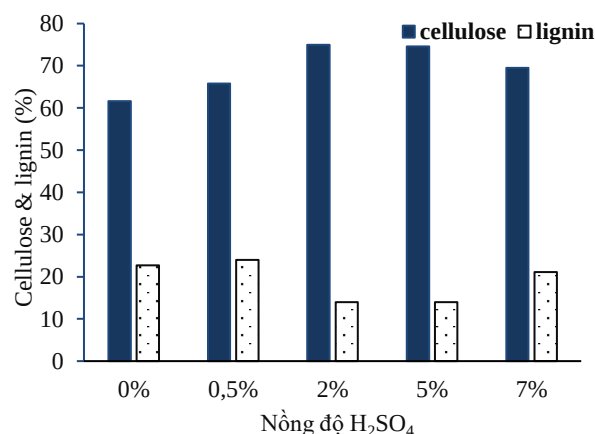


Hình 2. Ảnh hưởng của NaOH lên thành phần lignocellulose trong thân khóm (ở 30°C, 30 phút)

Kết quả khảo sát cho thấy, việc tăng nồng độ NaOH từ 0,5 – 7% không cải thiện cellulose trong mẫu khóm. Do đó, thí nghiệm tiếp theo sẽ khảo sát khả năng làm giàu cellulose trong thân khóm bằng xử lý H_2SO_4 .

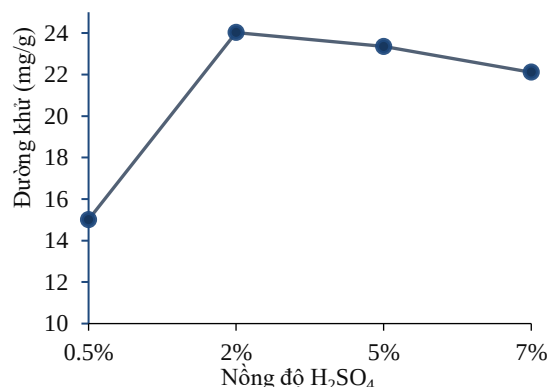
3.1.2. Ảnh hưởng của H_2SO_4 lên thành phần lignocellulose trong thân khóm

Hình 3 cho biết sự tác động của nồng độ H_2SO_4 (0,5 - 7%) lên thành phần hóa học trong mẫu khóm ở nhiệt độ xử lý là 30°C trong 30 phút. So với NaOH, xử lý bằng H_2SO_4 có tác động tích cực đến khả năng làm giàu cellulose do sự phân hủy của lignin. Ở nồng độ 2% H_2SO_4 lignin bị loại từ 22,7 xuống 14,1% dẫn đến sự tăng cellulose từ 61,6 đến 75,0%. Tuy nhiên, cellulose giảm từ 74,6 xuống 69,5% khi acid tăng từ 5 lên 7%. Nguyên nhân của sự suy giảm này có thể từ việc xử lý mẫu ở nồng độ cao acid sẽ dẫn đến việc phân hủy cellulose tinh thể. Điều này cũng được ghi nhận ở các nghiên cứu trước [10, 11]. Các tác giả này đã cho biết, khi tăng nồng độ acid H_2SO_4 1% đến 5% đã làm giảm hàm lượng cellulose từ 69,4 đến 23,9% trong mẫu cây lục bình.



Hình 3. Ảnh hưởng của H_2SO_4 lên thành phần lignocellulose trong thân khóm (ở 30°C, 30 phút)

Để xác định lượng đường khử trong pha lỏng, phương pháp DNS được thực hiện trong nghiên cứu này, kết quả nghiên cứu thể hiện ở Hình 4.



Hình 4. Ảnh hưởng của H_2SO_4 lên đường khử trong thân khóm (ở 30°C, 30 phút)

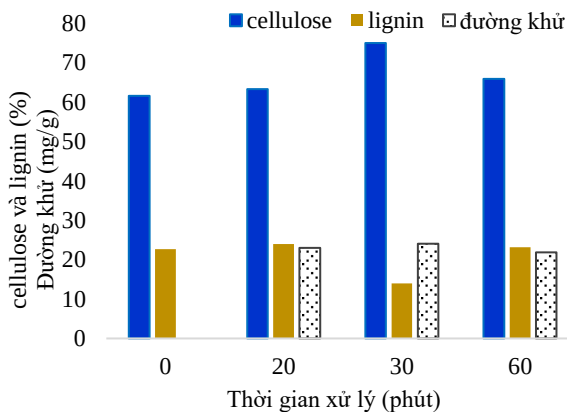
Nồng độ đường khử trong pha lỏng được xác định là 15,01 mg/g của mẫu xử lý với H_2SO_4 0,5%. Hàm lượng này tăng cực đại ở 2% H_2SO_4 là 24,02 mg/g, sau đó giảm xuống 23,35 mg/g và 22,11 mg/g khi tăng nồng độ H_2SO_4 lên 5 và 7% do glucose bị phân hủy khi nồng độ của

acid sulfuric càng cao. Sự gia tăng nồng độ H_2SO_4 làm tăng nồng độ ion H^+ trong dung dịch đã phân cắt liên kết nội phân tử glucose thành furfural, acid acetic, 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde (HMF) và acid formic. Quan sát này tương đồng với nghiên cứu trước đây [11, 12].

Trong thí nghiệm này, lượng đường cao nhất trong pha lỏng là 24,02 mg/g tương ứng chỉ có 3,5% sản lượng đường theo lý thuyết. So với sự làm giàu cellulose trong pha rắn tăng từ 61,6% lên 75,0% (hiệu suất đạt 97,4%). Do đó, phương pháp xử lý ở nồng độ 2% H_2SO_4 là phù hợp để tối ưu hóa hàm lượng cellulose trên bã rắn.

3.1.3. Ảnh hưởng của thời gian xử lý lên thành phần lignocellulose trong thân khóm

Mẫu khóm khô được xử lý bằng H_2SO_4 2% ở 30°C và thời gian xử lý từ 20-60 phút. Hình 5 cho biết sự ảnh hưởng của điều kiện khảo sát lên thành phần hóa học trong thân khóm.



Hình 5. Ảnh hưởng của thời gian xử lý mẫu lên thành phần hóa học trong thân khóm (2% H_2SO_4 ở 30°C)

Thời gian 20 phút xử lý với H_2SO_4 2% làm tăng nhẹ cellulose từ 61,6% lên 63,3%, và hàm lượng cellulose đạt cực đại 75,0% ở 30 phút xử lý. Lý do, tại thời điểm 30 phút phân hủy lignin là nhiều nhất, do đó cellulose tăng cao do cellulose được thoát khỏi sự ràng buộc của lignin. Tuy nhiên, việc kéo dài thời gian đến 60 phút đã làm giảm cellulose xuống 65,9%. Việc kéo dài thời gian phản ứng đã làm cắt đứt liên kết cellulose thành đường, do đó tại thời điểm 30 phút 75,0% cellulose được giải phóng khỏi lignin, nhưng kéo dài đến 60 phút thì lượng cellulose này bị phân hủy thành glucose. Quan sát này cũng tương đồng với những nghiên cứu trước đây trên các vật liệu lignocellulose [3, 5, 10, 11].

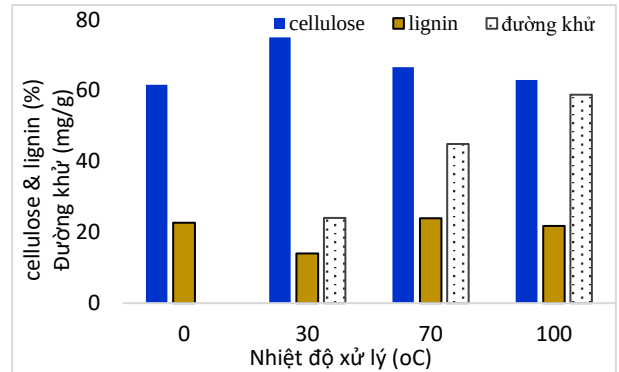
Sự thay đổi lượng đường khur theo thời gian cũng được thể hiện qua Hình 5. Kéo dài thời gian phản ứng 60 phút thì lượng đường khur giảm so với thời gian 20 và 30 phút, do thời gian phản ứng càng lâu đã làm cho glucose bị phân hủy thành những phân tử nhỏ hơn [3, 5, 10, 11]. Thí nghiệm này cho thấy, ở thời gian 30 phút xử lý, lượng đường đi vào pha lỏng là rất ít (chỉ có 3,5% tính trên lý thuyết), so với sự làm giàu cellulose trong pha rắn là cao (hiệu suất đạt 97,4%). Do đó, thời gian 30 phút xử lý là thông số tối ưu cho sự làm giàu cellulose trong bã rắn.

3.1.4. Ảnh hưởng của nhiệt độ xử lý lên thành phần lignocellulose trong thân khóm

1g mẫu thân khóm khô được xử lý với 10 mL H_2SO_4 2% trong 30 phút ở nhiệt độ khảo sát (30, 70 và 100°C).

Kết quả nghiên cứu được trình bày ở Hình 6.

Nhiệt độ là một trong những yếu tố chính ảnh hưởng trong phản ứng hóa học. Trong thí nghiệm này, hàm lượng cellulose giảm từ 75,0% xuống 63,0% khi tăng nhiệt độ từ 30 lên 100°C. Môi trường nhiệt độ càng cao đã thúc đẩy phản ứng cắt đứt liên kết cellulose dẫn đến hàm lượng chất này giảm trong bã rắn. Kết quả này phù hợp với kết quả định lượng đường khur trong dịch lỏng, lượng đường càng cao khi nhiệt độ xử lý càng cao. Khi tăng nhiệt độ từ 30°C lên 70°C thì lượng đường khur tăng từ 24,02 mg/g lên 44,87 mg/g. Tiếp tục tăng nhiệt độ lên 100°C, đường khur tiếp tục tăng lên đến 58,86 mg/g. Sự tăng lượng đường theo sự tăng nhiệt độ này là do cellulose bị cắt đứt liên kết bởi nhiệt thành đường glucose [3, 5, 10, 11].



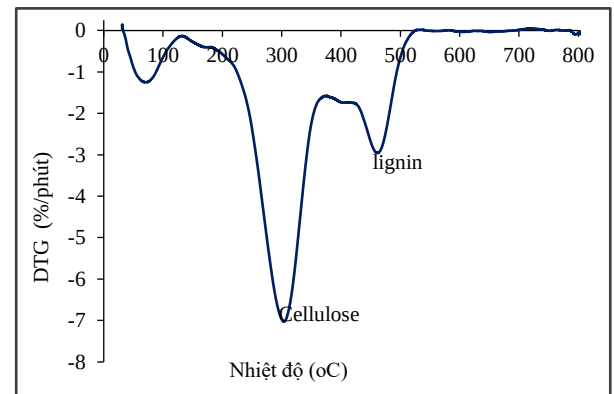
Hình 6. Ảnh hưởng của nhiệt độ xử lý lên thành phần hóa học trong thân khóm (2% H_2SO_4 , 30 phút)

Trong thí nghiệm này, lượng đường vào pha lỏng không đáng kể (8,5%), trong khi đó sự làm giàu cellulose trong pha rắn đạt 97,4% (ở 30°C). Do đó tối ưu hóa của quá trình là làm giàu cellulose trong pha rắn.

Từ những thí nghiệm trên, tối ưu hóa của quá trình làm giàu cellulose trong bã rắn là: acid H_2SO_4 ở nồng độ 2%, thời gian xử lý 30 phút và nhiệt độ 30°C.

3.2. Khảo sát cấu trúc mẫu trước và sau xử lý

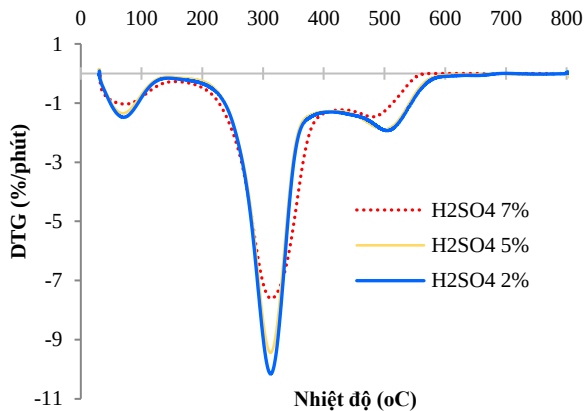
3.2.1. Phân tích nhiệt TGA



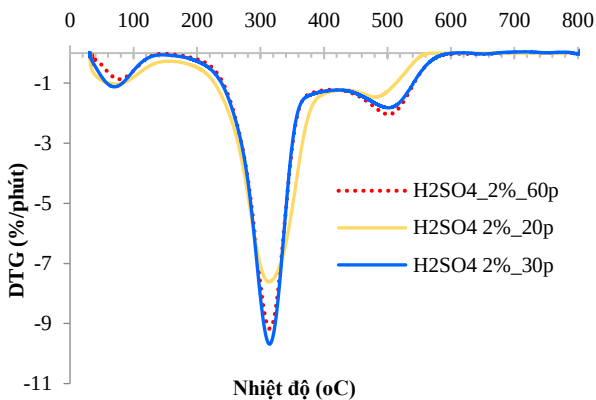
Hình 7. Thành phần hóa học trong mẫu khóm ban đầu

Biểu đồ phân tích nhiệt mẫu thân khóm ban đầu (Hình 7) cho thấy, sự mất khối lượng của độ ẩm trong mẫu từ 30 - 160°C. Hemicellulose, cellulose phân hủy ở 160–390°C. Tuy nhiên, hemicellulose hiện diện trong mẫu khóm với một lượng rất ít. Ở khoảng nhiệt độ từ 390–600°C là mũi của lignin. Kết quả này tương đồng với các nghiên cứu trước [3, 5, 10, 11].

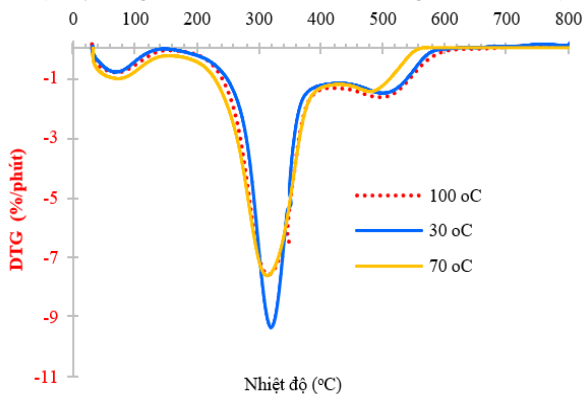
Hình 8 cho thấy, kết quả xử lý mẫu bằng H_2SO_4 ở các nồng độ từ 2-7% tín hiệu của cellulose tăng cao nhất ở mẫu xử lý 2% và giảm dần khi tăng nồng độ acid lên 5% và 7%. Tại nồng độ 2% H_2SO_4 , tín hiệu của lignin là rất thấp so với mẫu ban đầu, đó cũng là lý do làm cellulose đạt cao nhất ở nồng độ 2% H_2SO_4



Hình 8. Biểu đồ phân tích nhiệt TGA của mẫu khóm (xử lý ở 30°C, thời gian 30 phút với nồng độ acid khác nhau)



Hình 9. Biểu đồ phân tích nhiệt TGA của mẫu khóm (xử lý bằng H_2SO_4 2% ở 30°C với thời gian khác nhau)

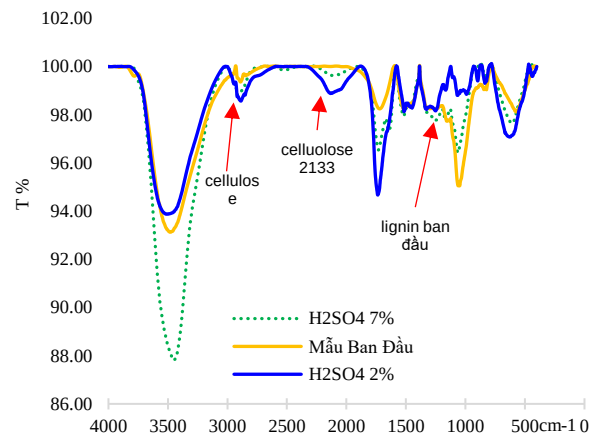


Hình 10. Biểu đồ phân tích nhiệt TGA của mẫu khóm (xử lý bằng H_2SO_4 2% trong 30 phút với nhiệt độ khác nhau)

Hình 9 và 10 chỉ ra sự ảnh hưởng của thời gian và nhiệt độ lên thành phần lignocellulose của khóm. Thời gian xử lý thấp (20 phút) hay quá dài (60 phút) cũng không cải thiện tín hiệu cellulose nhiều (Hình 9), mà cellulose chỉ đạt tín hiệu cao tối đa tại 30 phút xử lý. Mặt khác, nhiệt độ xử lý cao cũng gây ra bất lợi cho cellulose, quan sát này thể hiện

ở Hình 10: Mẫu xử lý ở 100°C làm tín hiệu cellulose chỉ còn 63,0% do cellulose bị phân hủy thành đường. Kết quả này phù hợp với kết quả định lượng đường khử.

3.2.2. Phân tích FTIR



Hình 11. Biểu đồ phân tích FTIR của mẫu khóm

Hình 11 cho thấy, với mẫu ban đầu có sự xuất hiện hai đỉnh với cường độ mạnh tại 3475 và 1047 cm^{-1} là sự dao động trong liên kết -O-H và C-O-C của các chất cellulose và hemicellulose. Tại đỉnh 2891 cm^{-1} đại diện cho dao động trong liên kết C-H của nhóm methyl và methylene nằm trong cấu trúc cellulose. Đỉnh 1160 cm^{-1} được ghi nhận là sự dao động của liên kết C-O có thể tồn tại trong cấu trúc của cả hai thành phần hemicellulose và lignin. Bên cạnh đó, cellulose còn được thể hiện tại sự dao động của liên kết β -(1,4)-glycosidic, đây là điểm đặc trưng cho cấu trúc vô định hình của cellulose ở bước sóng 844 cm^{-1} [9, 13].

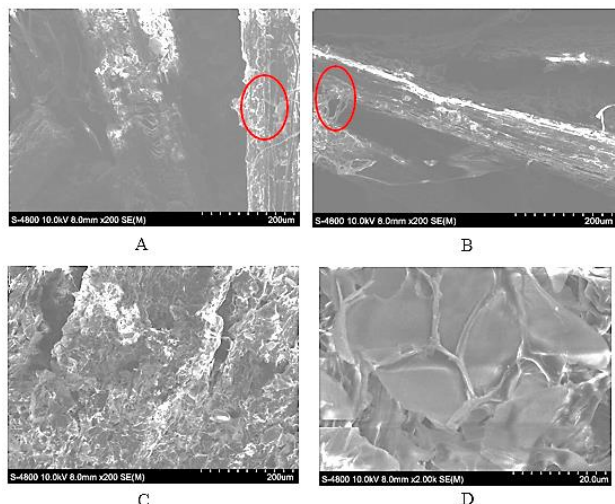
Mẫu xử lý với H_2SO_4 2%, tín hiệu ở mũi 1161 cm^{-1} của có cường độ thấp hơn mẫu ban đầu, cho thấy lignin trong mẫu xử lý bị loại. Mặt khác, mẫu xử lý có xuất hiện tín hiệu ở 2133 cm^{-1} và mũi ở 2889 cm^{-1} cho tín hiệu cao hơn mẫu đầu, đây là tín hiệu vùng tinh thể của cellulose, ở bước sóng 898 cm^{-1} là tín hiệu cellulose vùng vô định hình [8] cũng được tìm thấy cao hơn so với ban đầu cho thấy phương pháp xử lý đã loại lignin và làm tăng hàm lượng cellulose. Kết quả này tương đồng với kết quả TGA và SEM.

Mẫu xử lý bằng H_2SO_4 7% cho các tín hiệu tương tự mẫu ban đầu và mẫu xử lý bằng H_2SO_4 2% ở các bước sóng 2133, 2889 và 898 cm^{-1} nhưng cường độ mẫu xử lý H_2SO_4 7% có cellulose thấp hơn mẫu xử lý bằng H_2SO_4 2%. Mặt khác, tín hiệu ở 1515 cm^{-1} cao hơn so với mẫu ban đầu và mẫu xử lý H_2SO_4 2% cho thấy tín hiệu tái liên kết của lignin [10]. Do vậy, hàm lượng lignin tăng cao so với mẫu xử lý H_2SO_4 2%. Các kết này phù hợp với kết quả TGA và SEM.

3.2.3. Phân tích SEM

Hình 12 (A) thể hiện rõ cấu trúc bề mặt của mẫu khóm chưa qua xử lý, bề mặt mẫu liên kết với nhau thành một khối lớn, có thể nhìn thấy các loại sợi đan xen nhau trong cấu trúc mẫu. Xử lý mẫu với H_2SO_4 2% cho thấy, bó sợi được giải phóng ra khỏi cấu trúc có thể là bó sợi cellulose (Hình 12-B). Tuy nhiên, khi nồng độ H_2SO_4 tăng cao lên 7% (Hình 12-C) cho thấy cấu trúc mẫu bị phá vỡ, không quan sát được sợi như mẫu ban đầu và mẫu xử lý bằng H_2SO_4 2%. Mặt khác, quan sát với độ phóng đại 2.00k cho thấy có sự kết tụ bề mặt mẫu H_2SO_4 7% (Hình 12-D). Các

kết quả này phù hợp với TGA và FTIR.



Hình 12. Kết quả chụp SEM: mẫu khóm ban đầu (A), xử lý với H_2SO_4 2% (B), xử lý với H_2SO_4 7% (C, D)

4. Kết luận

Quá trình chuyển hóa ethanol sinh học trải qua 3 giai đoạn, trong đó giai đoạn tiền xử lý là quan trọng để loại bỏ lignin - một tác nhân gây cản trở cho quá trình thủy phân trong giai đoạn kế tiếp.

Kết quả nghiên cứu này cho thấy, phương pháp tiền xử lý sử dụng H_2SO_4 có hiệu quả cao so với sử dụng NaOH trong cùng điều kiện. Việc sử dụng tác chất là H_2SO_4 góp phần làm giàu hàm lượng cellulose và giảm hàm lượng lignin của nguyên liệu. Các yếu tố nồng độ, thời gian và nhiệt độ có ảnh hưởng tích cực đến hiệu quả quá trình tiền xử lý. Điều kiện tối ưu được đưa ra cho quá trình tiền xử lý trên phụ phẩm thân khóm được tìm thấy là sử dụng H_2SO_4 ở nồng độ 2%, thời gian 30 phút, nhiệt độ $30^\circ C$ với tỉ lệ 1g mẫu khô trên 10 mL dung dịch. Ở điều kiện này 38% lignin bị loại và hiệu suất làm giàu cellulose đạt 97,4%. Sự thay đổi thành phần, cấu trúc lignocellulose trong vật liệu được kiểm chứng phù hợp bằng các kỹ thuật TGA, FTIR và SEM. Kết quả nghiên cứu có triển vọng cho việc nghiên cứu tiếp theo là chuyển hóa ethanol sinh học từ phụ phẩm cây khóm tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ganguly A., Chatterjee P.K., Dey A., "Studies on ethanol production from water hyacinth—A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 2012, 966-972.
- [2] Renewable energies: The return of biomass, <https://www.youtube.com/watch?v=Ps6Rn-i9t1Y&t=177s>, 2015, truy cập 20/06/2018.
- [3] Ahmed, I.N., "Bioethanol production from Melaleuca leucadendron shedding bark: assessing pretreatments, solid and enzyme loading", *Ph.D thesis, National Taiwan University of Science and Technology*, 2013, 8-9.
- [4] Bayrakci, A.G. & Kocar, G., "Second-generation bioethanol production from water hyacinth and duckweed in Izmir: A case study", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 2014, 306–316.
- [5] Harun, M. Y., Radiah, A.B.D., Abidin, Z.Z. & Yunus, R., "Effect of physical pretreatment on dilute acid hydrolysis of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)", *Bioresource Technology*, 102, 2011, 5193–5199.
- [6] Abdel-Fattah, A.F., Abdel-Naby, M.A., "Pretreatment and enzymic saccharification of water hyacinth cellulose", *Carbohydrate polymers*, 87(3), 2012, 2109-2113.
- [7] Đào Thị Mỹ Linh, Nguyễn Thị Quỳnh Mai, Đỗ Thị Hoàng Tuyền, Nguyễn Thị Như Phương, "Khảo sát quá trình tạo chế phẩm bromelain dạng bột từ phụ phẩm dứa", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thực phẩm*, 12(1), 2017, 19-32.
- [8] Chintagunta, A.D., Ray, S., Banerjee, R., "An integrated bioprocess for bioethanol and biomanure production from pineapple leaf waste", *Journal of cleaner production*, 165, 2017, 1508-1516.
- [9] Niwaswong, C., Chaiyamate, P., Chotikosaikanon, P., Ruangviriyachai, C., "Simple and enhanced production of lignocellulosic ethanol by diluted acid hydrolysis process of pineapple peel (*ananas comosus*) waste", *African Journal of Biotechnology*, 13(38), 2014, 3928-3934.
- [10] Thuyen, N.T.B., Ki, L.O., Thuy, N.T.D., Ju, Y.H., "Effect of subcritical water pretreatment on cellulose recovery of water hyacinth (*eichhornia crassipe*)", *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 71, 2017, 55-61.
- [11] Xia, A., Cheng, J., Song, W., Cong, Y., Junhu, Z., Kefa, C., "Enhancing enzymatic saccharification of water hyacinth through microwave heating with dilute acid pretreatment for biomass energy utilization", *Energy*, 61, 2013, 158-166.
- [12] Jun Seok K., Tae Hyun K., "A review on alkaline pretreatment technology for bioconversion of lignocellulosic biomass", *Bioresource technology*, 199, 2016, 42-48.
- [13] Bhatia, L., Sonia, J., "Biovalorization potential of peels of ananas cosmosus (l.) Merr for ethanol production by pichia stipitis ncim 3498 & pachysolen tannophilus mtcc", *Indian journal of experimental biology*, 53(12), 2015, 819-827.

(BBT nhận bài: 29/6/2020, hoàn tất thủ tục phản biện: 09/9/2020)