

Tiền xử lý bột thân chuối bằng acid hoặc kiềm nhằm mục đích thu nhận bioethanol: ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ đến hiệu quả quá trình tiền xử lý

Tôn Nữ Minh Nguyệt, Mai Thị Hồng Diễm, Lê Văn Việt Mẫn

Tóm tắt— Thân cây chuối xuất xứ từ vườn chuối ở xã Lộc Giang, huyện Đức Hòa, tỉnh Long An có chứa 40,26% cellulose, 15,60% hemicellulose và 12,42% lignin. Bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu của quá trình tiền xử lý thân chuối với dung dịch H_2SO_4 hoặc dung dịch NaOH. Các yếu tố khảo sát bao gồm nồng độ dung dịch acid/ kiềm, nhiệt độ và thời gian tiền xử lý. Kết quả nghiên cứu cho thấy quá trình tiền xử lý bột thân chuối bằng dung dịch NaOH cho hiệu quả tốt hơn khi sử dụng dung dịch H_2SO_4 . Điều kiện thích hợp cho quá trình tiền xử lý bột thân chuối với dung dịch NaOH là nồng độ 3,0%, nhiệt độ $60^\circ C$ và thời gian 6 giờ.

Từ khóa— bioethanol, thân chuối, tiền xử lý, lignocellulose.

1 MỞ ĐẦU

Theo thống kê của Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, diện tích đất trồng chuối và sản lượng chuối ở nước ta vào năm 2014 lần lượt đạt 127.300 ha và 168,8 tạ/ha. Trong quá trình thu hoạch trái chuối, phần thân cây chuối là một phụ phẩm chiếm tỉ lệ cao nên cần được tận dụng để nâng cao hiệu quả khai thác các sản phẩm từ cây chuối.

Bản thảo nhận ngày 11 tháng 8 năm 2017, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 20 tháng 11 năm 2017.

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh (VNU-HCM) trong đề tài mã số C2016-20-16.

Tôn Nữ Minh Nguyệt, Mai Thị Hồng Diễm, Lê Văn Việt Mẫn – Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM.

Email: tonnguyet@hcmut.edu.vn

Lignocellulose chiếm tỷ lệ rất lớn trong phụ phẩm nông nghiệp và được xem là nguồn nguyên liệu tiềm năng để thu nhận bioethanol. Tuy nhiên, do cấu trúc xơ sợi đặc biệt nên để có thể thủy phân và lên men cellulose trong nhóm nguyên liệu này thì cần phải tiến hành quá trình tiền xử lý. Quá trình này giúp nguyên liệu trở nên xốp, loại bớt lignin, giúp enzyme tiếp cận với cellulose dễ dàng hơn, từ đó làm tăng hiệu quả cho quá trình thủy phân và lên men tiếp theo [1]. Quá trình tiền xử lý nguyên liệu lignocellulose bằng phương pháp hóa học đã được ứng dụng rộng rãi với hiệu quả kỹ thuật cao, rẻ tiền và dễ thực hiện [2, 3], trong đó phương pháp xử lý acid thường được thực hiện ở nhiệt độ cao hơn $100^\circ C$ và áp suất cao, còn phương pháp xử lý kiềm được tiến hành ở nhiệt độ từ $40^\circ C$ đến $70^\circ C$ và áp suất khí quyển [4].

Đến nay, Việt Nam vẫn chưa có công bố về sử dụng bột thân chuối để làm bioethanol. Với mục đích chung là tận dụng nguồn phụ phẩm nông nghiệp sẵn có và rẻ tiền để làm nguyên liệu sản xuất bioethanol, nghiên cứu này tập trung khảo sát quá trình tiền xử lý bột thân chuối bằng phương pháp hóa học sử dụng dung dịch H_2SO_4 hoặc dung dịch NaOH.

2 NGUYÊN LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP.

2.1 Nguyên liệu

2.1.1 Bột thân chuối

Thân cây chuối được lấy từ vườn chuối ở xã Lộc Giang, huyện Đức Hòa, tỉnh Long An, Việt Nam. Thân chuối lấy về được cắt nhỏ, phơi khô đến độ ẩm 5 %, nghiền thành bột và cho qua rây với kích thước lỗ 0,25 mm.

Nguyên liệu bột thân chuối được lưu trữ ở nhiệt độ phòng để sử dụng cho tất cả các thí nghiệm. Kết quả phân tích thành phần hoá học của bột thân chuối sử dụng trong nghiên cứu cho thấy rằng nguyên liệu này chứa 40,26% cellulose, 15,60 % hemicellulose và 12,42% lignin.

2.1.2 Chế phẩm *Viscozyme Cassava C*

Chế phẩm *Viscozyme Cassava C* với hoạt tính cellulase có xuất xứ từ chủng *Trichoderma reesei* do công ty Novozyme (Đan mạch) sản xuất. Hoạt tính của chế phẩm là 70 đơn vị hoạt độ/mL. Một đơn vị hoạt độ (1 U) là lượng chế phẩm cần thiết để xúc tác cho phản ứng chuyển hóa cellulose tạo ra được 1 μ mol glucose trong 1 phút. Theo bản mô tả đặc tính sản phẩm và hướng dẫn sử dụng của nhà sản xuất, nhiệt độ và pH làm việc tối ưu của chế phẩm này lần lượt là 55 °C và 4,2. Chế phẩm cellulase được sử dụng để đánh giá hiệu quả kỹ thuật của quá trình tiền xử lý bột thân chuối.

2.1.3 NaOH, H₂SO₄ và các hóa chất khác

Các hóa chất sử dụng có độ tinh sạch đạt chuẩn phân tích do công ty Xilong, Trung Quốc sản xuất.

2.2 Phương pháp nghiên cứu

2.2.1 Quy trình tiền xử lý bột thân chuối [1]

Tiền xử lý bột thân chuối bằng dung dịch NaOH.

Quá trình tiền xử lý bằng dung dịch NaOH được thực hiện trong bể lắc điều nhiệt. Bột thân chuối được ngâm trong dung dịch NaOH với tỷ lệ 5 % (w/v).

- Thí nghiệm 1 (TN1): nồng độ dung dịch NaOH thay đổi từ 0,5 % đến 4 %; các yếu tố cố định là nhiệt độ tiền xử lý 40 °C, thời gian tiền xử lý 4h.

- Thí nghiệm 2 (TN2): nhiệt độ tiền xử lý thay đổi từ 40°C đến 70 °C; yếu tố cố định là thời gian tiền xử lý 4h; nồng độ dung dịch NaOH được chọn theo kết quả TN1.

- Thí nghiệm 3 (TN3): thời gian tiền xử lý thay đổi từ 4h đến 10h; nồng độ dung dịch NaOH được chọn theo kết quả TN1; nhiệt độ tiền xử lý được chọn theo kết quả TN2.

Tiền xử lý bột thân chuối bằng dung dịch H₂SO₄

Quá trình tiền xử lý bằng dung dịch H₂SO₄ được thực hiện trong nồi hấp ở 121°C. Bột thân

chuối được ngâm trong dung dịch H₂SO₄ với tỷ lệ 5 % (w/v).

- Thí nghiệm 4 (TN4): nồng độ dung dịch H₂SO₄ thay đổi từ 0,5 % đến 4 %; các yếu tố cố định là nhiệt độ tiền xử lý 121°C, thời gian tiền xử lý 15ph.

- Thí nghiệm 5 (TN5): thời gian tiền xử lý thay đổi từ 15ph đến 60ph; yếu tố cố định là nhiệt độ tiền xử lý 121°C; nồng độ dung dịch H₂SO₄ được chọn theo kết quả TN4.

Khi kết thúc quá trình tiền xử lý, hỗn hợp được lọc qua túi lọc vải và rửa bằng nước cất cho đến khi nước rửa đạt được pH trung tính để loại bỏ thành phần H₂SO₄ hoặc NaOH đã sử dụng trong quá trình tiền xử lý. Pha rắn được đem sấy ở 40 °C rồi nghiền và cho qua rây kích thước 0,25mm. Phần qua rây là bột thân chuối đã qua tiền xử lý.

2.2.2 Kiểm tra hiệu quả quá trình tiền xử lý

Khi kết thúc quá trình tiền xử lý, bột thân chuối được cho vào dung dịch đệm citrate pH 4,2 với tỉ lệ 5 % (w/v), sau đó bổ sung chế phẩm enzyme *Viscozyme Cassava C* với nồng độ enzyme là 15U/g nguyên liệu.

Hỗn hợp này được đặt vào tủ lắc điều nhiệt ở 55 °C, tốc độ lắc 150 vòng/ph trong 48 h để thủy phân cellulose. Tiếp theo, hỗn hợp được gia nhiệt đến 80 °C và giữ trong 5ph để bất hoạt enzyme [1]. Pha lỏng sẽ được tách ra bằng phương pháp ly tâm để kiểm tra lượng đường khử sinh ra trong quá trình thủy phân. Mẫu đối chứng là mẫu bột thân chuối chưa qua tiền xử lý và được đem thủy phân với chế phẩm *Viscozyme Cassava C* trong điều kiện tương tự như trên. Để thấy được rõ hơn hiệu quả quá trình tiền xử lý, mẫu bột thân chuối sau tiền xử lý được chụp hình trên kính hiển vi điện tử quét (Scanning Electron Microscope) tại Trung tâm nghiên cứu triển khai, khu công nghệ cao Thủ Đức, thiết bị sử dụng là FE SEM S4800 (Hitachi, Nhật).

2.3 Phương pháp phân tích và công thức tính

2.3.1 Đường khử

Đường khử được định lượng bằng phương pháp quang phổ so màu với thuốc thử dinitrosalicylic acid [5].

2.3.2 Hiệu suất thủy phân

Hiệu suất thủy phân H được tính như sau:

$$H = \frac{M_{\text{đường}}}{M_{\text{mẫu}}} \times 100\% \quad (1)$$

Với:

$M_{\text{đường}}$: Tổng lượng đường khử tạo thành tại thời điểm kết thúc quá trình thủy phân với chế phẩm *Viscozyme Cassava C* đối với mẫu bột thân chuối đã qua hoặc chưa qua quá trình tiền xử lý (g).

$M_{\text{mẫu}}$: Lượng chất khô trong mẫu bột thân chuối tại thời điểm bắt đầu quá trình tiền xử lý (g).

2.3.3 Hiệu suất thu hồi

Hiệu suất thu hồi (H) trong quá trình tiền xử lý được tính bằng công thức sau:

$$Y = \frac{m_{\text{cks}}}{m_{\text{ckt}}} \times 100(\%) \quad (2)$$

Với:

m_{cks} : Tổng lượng chất khô trong mẫu bột thân chuối thu được sau quá trình tiền xử lý (g).

m_{ckt} : Tổng lượng chất khô của mẫu bột thân chuối trước khi tiền xử lý (g).

2.3.4 Phương pháp xử lý số liệu

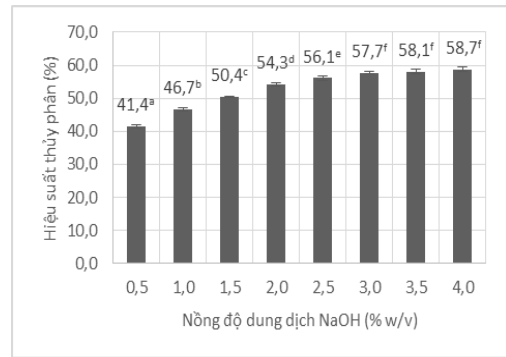
Tất cả các thí nghiệm được lặp lại 3 lần và kết quả là giá trị trung bình \pm độ lệch chuẩn. Phương pháp xử lý thống kê một chiều được thực hiện trên phần mềm Statgraphics Centurion XV. Các kết quả được xem là khác nhau có ý nghĩa khi $p < 0,05$.

3 KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN.

3.1 Tiền xử lý bột thân chuối bằng dung dịch NaOH

3.1.1 Ảnh hưởng của nồng độ dung dịch NaOH đến hiệu quả tiền xử lý

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ NaOH đến hiệu quả của quá trình tiền xử lý bột thân chuối được trình bày trên hình 1 cho thấy khi tăng nồng độ dung dịch NaOH trong quá trình tiền xử lý từ 0,5 % đến 3 % thì hiệu suất thủy phân nguyên liệu với chế phẩm cellulase tăng dần từ 41,4 % đến 57,7 %. Nếu tiếp tục tăng nồng độ NaOH từ 3 % lên 3,5 % và 4 % thì kết quả khác biệt không có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$).



Hình 1: Ảnh hưởng của nồng độ dung dịch NaOH đến hiệu quả của quá trình tiền xử lý bột thân chuối

Khi tăng nồng độ dung dịch NaOH thì quá trình thủy phân hemicellulose, độ hoà tan lignin trong dung dịch NaOH và sự trương nở cấu trúc cellulose sẽ tăng lên tạo điều kiện thuận lợi hơn cho quá trình hấp phụ cellulase lên phân tử cellulose trong nguyên liệu trong giai đoạn thủy phân. Quá trình thủy phân diễn ra dễ dàng và hiệu suất thủy phân sẽ cao hơn [6]. Tuy nhiên, nếu nồng độ dung dịch NaOH quá cao thì độ nhớt dung dịch tiền xử lý tăng, làm giảm tốc độ khuếch tán anion OH^- vào bên trong cấu trúc nguyên liệu, từ đó khả năng cắt các liên kết glucoside trong hemicellulose và làm xốp mạng lưới cellulose trong khối nguyên liệu sẽ trở nên chậm lại [6], hiệu quả tiền xử lý không tăng thêm nữa.

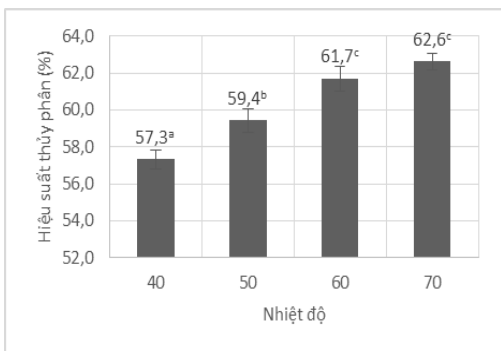
Dựa vào kết quả thực nghiệm này, nồng độ dung dịch NaOH 3 % được chọn cho các thí nghiệm tiếp theo.

3.1.2 Ảnh hưởng của nhiệt độ đến hiệu quả tiền xử lý bằng NaOH

Hình 2 cho thấy khi tăng nhiệt độ xử lý từ 40°C lên 60°C thì hiệu suất thủy phân tăng từ 57,3% lên 61,7 %. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng nhiệt độ từ 60°C lên 70°C thì sự khác biệt của các giá trị của hiệu suất thủy phân thu được không có ý nghĩa ($p > 0,05$).

Sự gia tăng nhiệt độ làm tăng tốc độ khuếch tán ion OH^- từ dung dịch vào khối nguyên liệu lignocellulose, từ đó làm tăng tốc độ phân cắt các phân tử hemicellulose và tách lignin, làm lộ diện bề mặt tự do của các phân tử cellulose trong khối nguyên liệu [6, 7], nhờ đó hiệu suất thủy phân với chế phẩm cellulase sẽ gia tăng. Tuy nhiên, Bali (2014) cho rằng xử lý kiềm ở nhiệt độ cao không chỉ phá hủy các liên kết trong hemicellulose và lignin mà liên kết giữa các đơn phân của cellulose cũng bị phá hủy, do

đó một phần cellulose bị thất thoát vào pha lỏng trong quá trình tiền xử lý. Sự thủy phân cellulose ở dạng vô định hình khi tiến hành xử lý bằng kiềm ở 70 °C đã được ghi nhận [8]. Có lẽ sự thất thoát một phần cellulose trong quá trình tiền xử lý bằng kiềm là nguyên nhân khiến cho hiệu suất thủy phân không thay đổi khi tăng nhiệt độ tiền xử lý từ 60 °C lên 70 °C. Nhiệt độ được lựa chọn cho các thí nghiệm tiếp theo là 60 °C.

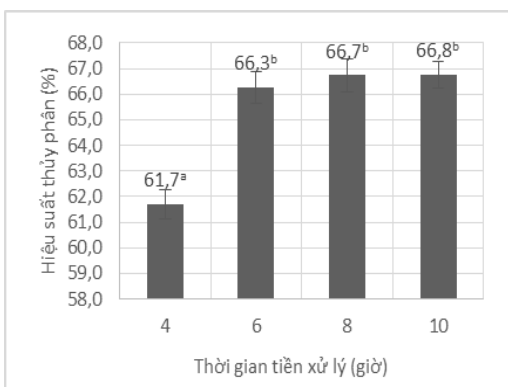


Hình 2: Ảnh hưởng của nhiệt độ đến hiệu quả của quá trình tiền xử lý bột thân chuối bằng dung dịch NaOH

3.1.3 Ảnh hưởng của thời gian đến hiệu quả tiền xử lý bằng NaOH

Khi tăng thời gian tiền xử lý từ 4 h lên 6 h thì hiệu suất thủy phân tăng từ 61,7 lên 66,3% (Hình 3). Nếu kéo dài thời gian tiền xử lý từ 6h lên 10h thì hiệu suất thủy phân thay đổi không có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$); nguyên nhân có thể là do sự thất thoát một phần cellulose trong quá trình tiền xử lý [9].

Thời gian xử lý bột thân chuối thích hợp là 6h với hiệu suất thủy phân đạt 66,28%.



Hình 3: Ảnh hưởng của thời gian tiền xử lý đến hiệu quả của quá trình tiền xử lý bột thân chuối bằng dung dịch NaOH

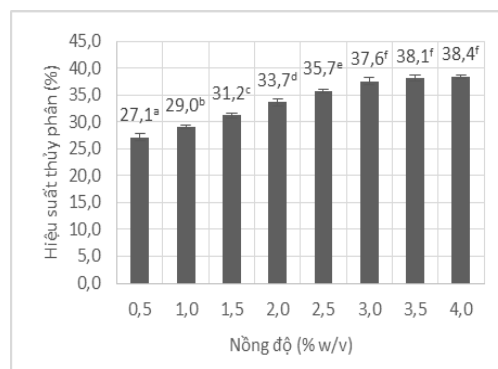
3.2 Tiền xử lý bột thân chuối bằng dung dịch H₂SO₄

Trước đây, quá trình tiền xử lý lignocellulose trong các loại phụ phẩm nông nghiệp với dung dịch H₂SO₄ thường được tiến hành ở khoảng nhiệt độ 120 – 180 °C [9,10]. Trong nghiên cứu này, nhiệt độ được chọn là 121°C vì sử dụng nhiệt độ cao hơn cần phải có thiết bị chịu được áp suất rất cao và khó triển khai vào thực tiễn. Hơn nữa, sử dụng nhiệt độ quá cao sẽ làm phát sinh một số chất ức chế nấm men trong quá trình lên men ethanol tiếp theo [4]. Để làm tăng hiệu quả tiền xử lý với dung dịch H₂SO₄ ở 121°C, nồng độ acid và thời gian xử lý sẽ lần lượt được khảo sát.

3.2.1 Ảnh hưởng của nồng độ dung dịch H₂SO₄ đến hiệu quả tiền xử lý

Kết quả trên hình 4 cho thấy khi tăng nồng độ acid từ 0,5 đến 3 % thì hiệu suất thủy phân nguyên liệu với chế phẩm cellulase sẽ tăng từ 27,1 % đến 37,6 %. Nếu tiếp tục tăng nồng độ acid từ 3 % w/v đến 3,5 % và 4 % thì kết quả khác biệt không ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$).

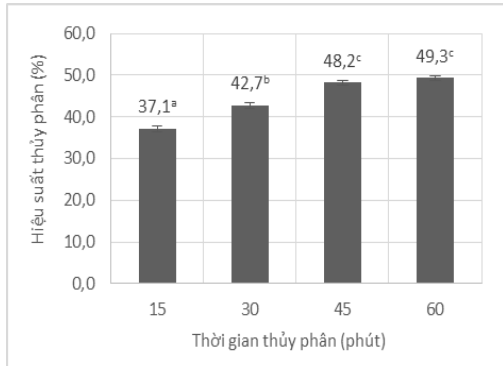
Sự gia tăng nồng độ acid đồng nghĩa với sự gia tăng nồng độ ion H⁺, khi đó quá trình phân cắt phân tử hemicellulose thành các mạch ngắn diễn ra mạnh mẽ hơn. Sự phân cắt hemicellulose trong phức cellulose và hemicellulose sẽ giúp cho cellulase dễ hấp phụ lên cellulose và phản ứng thủy phân cellulose sẽ tạo ra nhiều đường khử hơn, từ đó làm tăng hiệu suất thủy phân [6,11]. Tuy nhiên, khi nồng độ dung dịch H₂SO₄ tăng cao thì khả năng thất thoát cellulose trong quá trình tiền xử lý sẽ tăng theo do cellulose bị phân cắt thành những sản phẩm mạch ngắn [4,6], chúng sẽ hòa tan vào dung dịch và bị loại bỏ theo pha lỏng.



Hình 4: Ảnh hưởng của nồng độ dung dịch H₂SO₄ đến hiệu quả của quá trình tiền xử lý bột thân chuối

Nồng độ dung dịch H₂SO₄ thích hợp cho quá trình tiền xử lý sẽ là 3 % và nồng độ này được chọn cho thí nghiệm tiếp theo.

3.2.2. Ảnh hưởng của thời gian tiền xử lý đến hiệu quả tiền xử lý bằng dung dịch H₂SO₄



Hình 5: Ảnh hưởng của thời gian đến hiệu quả của quá trình tiền xử lý bột thân chuối với dung dịch H₂SO₄.

Hình 5 cho thấy khi tăng thời gian tiền xử lý acid từ 0,25 h đến 0,75 h thì hiệu suất thủy phân tăng từ 37,1 đến 48,2 %. Nếu tiếp tục tăng thời gian tiền xử lý từ 0,75 h lên 1h thì hiệu suất thủy phân thay đổi không có ý nghĩa thống kê. Như vậy, 0,75 h được xem là thời gian thích hợp để tiền xử lý acid bột thân chuối. Trước đây, Kumar (2009) nhận thấy thời gian phù hợp cho quá trình tiền xử lý lignocellulose trong thân lục bình với dung dịch H₂SO₄ ở 121°C là 0,25h [12]. Thời gian tiền xử lý với acid thay đổi trong các nghiên cứu khác nhau là do sự khác biệt về cấu trúc của nguồn nguyên liệu lignocellulose sử dụng.

3.3 So sánh hiệu quả tiền xử lý

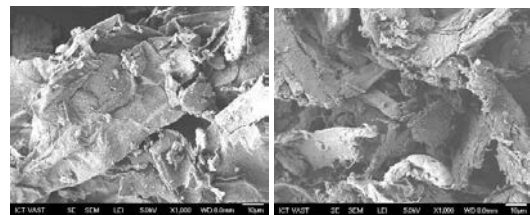
Từ kết quả thí nghiệm được tổng hợp ở Bảng 1, chúng tôi nhận thấy phương pháp tiền xử lý bột thân chuối bằng kiềm hoặc acid đều làm tăng đáng kể hiệu suất thủy phân của nguyên liệu so với mẫu đối chứng không qua tiền xử lý. Hiệu suất thủy phân càng cao thì lượng đường khử càng nhiều và như vậy lượng ethanol tạo thành trong quá trình lên men tiếp theo sẽ tăng lên.

Bảng 1. So sánh hiệu quả tiền xử lý bột thân chuối với dung dịch NaOH và H₂SO₄

	Đối chứng	Tiền xử lý bằng acid	Tiền xử lý bằng kiềm
Nồng độ	-	3 %	3 %
Thời gian	-	0,75 h	6 h
Nhiệt độ	-	121 °C	60 °C
Hiệu suất thu hồi chất khô	-	67,24 ± 2,15 %	75,47 ± 4,10 %
Hiệu suất thủy phân, %	13,57±0,1	48,19±0,6	66,28±0,6

Hiệu suất thu hồi chất khô so với mẫu đối chứng không qua tiền xử lý trong trường hợp sử dụng dung dịch NaOH 3 % là 75,47±4,10 %, cao hơn 1,2 lần so với hiệu suất thu hồi chất khô trong trường hợp sử dụng dung dịch H₂SO₄ 3% (67,24±2,15 %). Phương pháp tiền xử lý bằng kiềm cho hiệu suất thủy phân (66,28 %) cao hơn 1,4 lần so với phương pháp tiền xử lý bằng acid (48,19 %). Bên cạnh đó, điều kiện tiền xử lý với dung dịch NaOH tuy thời gian dài hơn nhưng nhiệt độ thấp hơn và điều kiện xử lý ôn hòa hơn, bên cạnh đó là hiệu suất thu hồi chất khô cũng cao hơn so với quá trình tiền xử lý bằng dung dịch acid.

Hình 6 là hình chụp SEM của mẫu bột thân chuối trước và sau quá trình tiền xử lý bằng dung dịch NaOH. Sau tiền xử lý các cấu trúc sợi cellulose bị đứt vỡ, xốp hơn so với nguyên liệu ban đầu.



Hình 6: Hình chụp SEM của mẫu bột thân chuối trước (trái) và sau (phải) tiền xử lý

4 KẾT LUẬN.

Khi tăng nồng độ acid/kiềm và thời gian tiền xử lý bột thân chuối trong một khoảng xác định thì hiệu suất thủy phân nguyên liệu với enzyme cellulase sẽ gia tăng. Tuy nhiên, nếu tiếp tục tăng nồng độ acid/kiềm và thời gian tiền xử lý thì hiệu suất thủy phân không thể tăng thêm được nữa.

Phương pháp tiền xử lý bột thân chuối với dung dịch NaOH cho hiệu quả tốt hơn so với dung dịch H₂SO₄. Điều kiện thích hợp cho quá trình tiền xử lý bột thân chuối bằng dung dịch kiềm là: nồng độ dung dịch NaOH: 3 %, nhiệt độ: 60 °C và thời gian tiền xử lý 6 h. Bột thân chuối sau khi tiền xử lý ở điều kiện trên được đem đi thủy phân với chế phẩm cellulase với các điều kiện của nghiên cứu này có hiệu suất thủy phân là 66,28 % cao hơn so với nguyên liệu được xử lý bằng dung dịch acid hoặc không được xử lý.

REFERENCES

- [1] C. E. Wyman, B. E. Dale, R. T. Elander, M. Holtzapple, M. R. Ladisch, and Y. Y. Lee, "Coordinated development of leading biomass pretreatment technologies," *Bioresour Technol*, vol. 96, pp. 1959-1966, Dec 2005.
- [2] S.Chittibabu, K.Rajendran, and M.Sanathanmuthu, "Optimization of microwave assisted alkali pretreatment and enzymatic hydrolysis of Banana pseudostem for bioethanol production," *International Conference on Environmental Science and Technology*, vol. 6, 2011.
- [3] Y. Chen, M. A. Stevens, Y. Zhu, J. Holmes, and H. Xu, "Understanding of alkaline pretreatment parameters for corn stover enzymatic saccharification," *Biotechnology for Biofuels*, vol. 6, pp. 1-10, 2013.
- [4] S. Thakur, B. Shrivastava, S. Ingale, R. C. Kuhad, and A. Gupte, "Degradation and selective ligninolysis of wheat straw and banana stem for an efficient bioethanol production using fungal and chemical pretreatment," *3 Biotech*, vol. 3, pp. 365-372, Oct 2013.
- [5] M. G. Liller-, "Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar," *Analytical chemistry*, vol. 31, pp. 426-428, 1959.
- [6] R. P. Chandra, R. Bura, W. E. Mabee, A. Berlin, X. Pan, and J. N. Saddler, "Substrate Pretreatment: The Key to Effective Enzymatic Hydrolysis of Lignocellulosics?," *Adv Biochem Engin/Biotechnol*, vol. 108, pp. 67-93, 2007.
- [7] J. S. Kim, Y. Y. Lee, and T. H. Kim, "A review on alkaline pretreatment technology for bioconversion of lignocellulosic biomass," *Bioresour Technol*, vol. 199, pp. 42-48, Jan 2016.
- [8] G. Bali, X. Meng, J. I. Deneff, Q. Sun, and A. J. Ragauskas, "The effect of alkaline pretreatment methods on cellulose structure and accessibility," *ChemSusChem*, vol. 8, no. 2, pp. 275-279, Jan 2015.
- [9] Y. Sun and J. J. Cheng, "Dilute acid pretreatment of rye straw and bermudagrass for ethanol production," *Bioresour Technol*, vol. 96, no. 14, pp. 1599-1606, Sep 2005.
- [10] B. C. I. Saha, Loren B. Cotta, Michael A. Wu, Y. Victor, "Dilute acid pretreatment, enzymatic saccharification and fermentation of wheat straw to ethanol," *Process Biochemistry*, vol. 40, pp. 3693-3700, 2005.
- [11] P. Alvira, E. Tomas-Pejo, M. Ballesteros, and M. J. Negro, "Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review," *Bioresour Technol*, vol. 101, no. 13, pp. 4851-4861, Jul 2010.
- [12] A. Kumar, L. K. Singh, and S. Ghosh, "Bioconversion of lignocellulosic fraction of water-hyacinth (*Eichhornia crassipes*) hemicellulose acid hydrolysate to ethanol by *Pichia stipitis*," *Bioresour Technol*, vol. 100, no. 13, pp. 3293-3297, Jul 2009.

Tôn Nữ Minh Nguyệt, tiến sĩ chuyên ngành Công nghệ Thực phẩm, Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM, Việt Nam. Hiện đang công tác tại bộ môn Công nghệ Thực phẩm, khoa Kỹ thuật Hóa học Trường đại học Bách Khoa ĐHQG-HCM.

Mai Thị Hồng Diễm, thạc sĩ chuyên ngành Công nghệ Thực phẩm, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM, Việt Nam, tốt nghiệp năm 2016.

Lê Văn Việt Mẫn, Giáo sư Tiến sĩ chuyên ngành Công nghệ Thực phẩm, Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM, Việt Nam. Hiện đang công tác tại bộ môn Công nghệ Thực phẩm, khoa Kỹ thuật Hóa học Trường Đại học Bách khoa ĐHQG-HCM.

Pretreatment of banana stem powder using acid or base to isolate bioethanol: effects of technological parameters on the yield of the pretreatment

Ton Nu Minh Nguyet, Mai Thi Hong Diem, Le Van Viet Man

Abstract— Banana stem from a banana farm in Duc Hoa, Long An contained 40.26% of cellulose, 15.60% of hemicellulose and 12.42% lignin. In this study, the effects of H₂SO₄ or NaOH concentration, temperature, time on pretreatment of banana stem were investigated. The result revealed that NaOH solution showed better effect on the pretreatment compared with H₂SO₄. The best pretreatment condition included NaOH concentration of 3.0%, temperature of 60 °C and time of 6 hours.

Index Terms— bioethanol, banana trunk, banana stem, pretreatment, lignocellulose