



# SỰ CHUYỂN ĐỔI SINH KHỐI LIGNOCELLULOSE: TỪ PHẾ THẢI ĐẾN NGUYÊN LIỆU TIỀM NĂNG CHO SẢN XUẤT ETHANOL SINH HỌC THẾ HỆ THỨ HAI TẠI VIỆT NAM

## Conversion of lignocellulosic biomass: From waste to promising feedstock for bioethanol production of second generation in Vietnam

Phan Thị Phẩm<sup>1\*</sup>, Lê Thị Thu Hương<sup>2</sup>, Đoàn Thị Tuyết Lê<sup>3</sup>, Lê Phú Đông<sup>4</sup>

\*[pham8384@gmail.com](mailto:pham8384@gmail.com)

<sup>1,2,3,4</sup>Khoa Kỹ thuật Hóa học – Môi Trường

Trường Đại học Lạc Hồng, Đồng Nai, Việt Nam

Đến tòa soạn: 09/05/2017; Chấp nhận đăng: 31/05/2017

**Tóm tắt.** Sự thải bỏ dễ phân hủy tự nhiên và/hoặc đốt bỏ các phế thải lignocellulose từ rừng, sản xuất nông nghiệp,... đã thải ra một lượng lớn CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, góp phần gây ô nhiễm môi trường và hiệu ứng nhà kính. Trong khi đó, lignocellulose có chứa các thành phần đường mà vi sinh vật có thể lên men tạo ra ethanol nên phế thải lignocellulose là nguyên liệu tiềm năng để sản xuất ethanol sinh học thế hệ thứ hai. Trong bài viết này, lượng phế thải lignocellulose của Việt Nam được thu thập, ước tính khoảng 113,7 triệu tấn/năm. Ngoài ra, ưu nhược điểm của các công nghệ, phương pháp và các tiếp cận mới trong sản xuất ethanol từ lignocellulose cũng được phân tích. Đây là cơ sở để đẩy mạnh việc nghiên cứu sâu hơn và áp dụng sản xuất ethanol sinh học từ nguồn lignocelluloses thải.

**Từ khóa:** Tái chế lignocellulose; Ethanol sinh học; Phế thải lignocellulose; Công nghệ sản xuất ethanol sinh học

**Abstract.** The disposal for natural degradation and/or burning lignocellulosic residues such as forestal, agricultural residue generate CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> etc. which are greenhouse gases and air pollution sources. Meanwhile, lignocellulose consists of sugars that are carbon sources for fermenting of microorganisms in producing bioethanol. Therefore, they are potential feedstock for second generation bioethanol production. In this paper, the data of lignocellulosic waste in Vietnam was collected, about 113.7 million ton/year. In addition, the advantages and disadvantages of new techniques, strategies and approaches in bioethanol production from lignocellulosic materials were also assessed. These are foundations for further study and application of bioethanol production from waste lignocellulosic materials.

**Keywords:** Lignocellulosic recycling; Bioethanol; Lignocellulosic residues; Bioethanol production technology

### 1. GIỚI THIỆU

Sự đẩy mạnh sản xuất nông, lâm nghiệp đã thải ra một lượng lớn chất thải sau thu hoạch như phế thải từ rừng (cành, lá,...), phế thải nông nghiệp (cỏ, bèo dậu, rơm rạ, bã mía, thân mì, các loại vỏ,...) và các chất thải hằng ngày như giấy, bìa, ghê,... Các chất thải này được gọi là vật liệu lignocellulose thải với thành phần chủ yếu là cellulose 35-50 %, hemicellulose 15 – 30 % và lignin 10-25 % [1, 2]. Chỉ một phần lượng chất thải này được tái sử dụng làm thức ăn gia súc, chất độn,... phần còn lại thường được đốt hay thải bỏ để phân hủy tự nhiên. Cách xử lý này sẽ thải ra CO, CO<sub>2</sub> hay CH<sub>4</sub>,... Đây là các nguồn góp phần gây ô nhiễm môi trường và hiệu ứng nhà kính. Trong khi đó, gần đây nhiều nghiên cứu đã chứng minh một số nhiên liệu sinh học như ethanol sinh học, khí sinh học,... và một số hợp chất, được phẩm quan trọng có thể được sản xuất từ nguồn lignocellulose này. Sự sản xuất năng lượng sinh học từ nguồn lignocellulose thải được gọi là năng lượng sinh học thế hệ thứ hai. Khác với thế hệ thứ nhất, năng lượng sinh học được sản xuất từ lương thực như bắp, sắn, đậu hay một số loại cây dầu, sự sản xuất nhiên liệu sinh học thế hệ thứ hai không gây áp lực lên nhu cầu cung cấp lương thực. Trong đó, sản xuất ethanol sinh học từ sinh khối lignocellulose thải nhận được nhiều sự quan tâm vì nó có thể giải quyết vấn đề ô nhiễm môi trường từ chất thải nông nghiệp và tăng lợi ích kinh tế. Khí CO<sub>2</sub> sinh ra từ quá trình sản xuất và sử dụng ethanol ít hơn nhiều so với khí CO<sub>2</sub> sinh ra từ quá trình sản xuất và sử dụng xăng truyền thống xét trên cùng một mức năng lượng [3]. Do đó, ethanol sinh học còn có thể dùng để thay thế cho xăng được chưng cất từ nguồn nhiên liệu hoá thạch đang dần cạn kiệt và gây ô nhiễm

môi trường. Hiện nay, lượng xăng dầu từ dầu mỏ được tiêu thụ hằng năm tại Việt Nam cũng như thế giới ngày càng tăng. Theo số liệu báo cáo của ngành dầu khí Việt Nam, đến năm 2020, nhu cầu nhiên liệu hóa lỏng của Việt Nam là 2,1 triệu tấn/năm [4]. Tuy nhiên, Việt Nam đang được xem là nước nghèo về tài nguyên dầu mỏ và với xu hướng phát triển như hiện nay, đến năm 2020, Việt Nam sẽ được xếp vào nhóm rất nghèo về loại tài nguyên này [5]. Do đó, ethanol sinh học không những không đóng góp vào sự phát thải CO<sub>2</sub> mà còn là giải pháp cho ngành dầu khí Việt Nam hiện tại và tương lai. Vì vậy, sản xuất ethanol sinh học từ sinh khối lignocelluloses thải là một ngành sản xuất đầy triển vọng.

Với sự phát triển nông nghiệp và rừng từ sớm, Việt Nam có thuận lợi về nguồn nguyên liệu phế thải lignocellulose dồi dào. Đây là nguồn nguyên liệu chính cho sản xuất nhiên liệu sinh học nói chung và ethanol sinh học nói riêng. Năm 2009, cơ quan Hợp tác quốc tế Nhật Bản (JICA) đã tài trợ cho Việt Nam dự án sản xuất ethanol sinh học từ rơm rạ. Tuy nhiên, do hạn chế về khoa học, công nghệ và đặc biệt là các đánh giá cụ thể về tiềm năng nguồn nguyên liệu nên các dự án nghiên cứu cũng như áp dụng thực tế về sản xuất ethanol sinh học thế hệ thứ hai ở Việt Nam chưa được phổ biến. Nhằm góp phần thúc đẩy sự phát triển ethanol sinh học thế hệ hai ở Việt Nam, bài báo đã khảo sát tiềm năng phế thải lignocellulose cho sản xuất ethanol sinh học tại Việt Nam, đồng thời phân tích tóm tắt các tiếp cận, công nghệ mới được dùng để sản xuất ethanol sinh học thế hệ hai có thể áp dụng ở Việt Nam.

### 2. NỘI DUNG

## 2.1 Phế thải lignocellulose: nguyên liệu tiềm năng cho sản xuất ethanol sinh học ở Việt Nam

Việt Nam là quốc gia có nền nông nghiệp và lâm nghiệp phát triển. Theo quy hoạch của Chính phủ đến 2020, nông nghiệp Việt Nam không những phát triển theo chiều sâu mà diện tích nông nghiệp cũng tăng thêm khoảng 306 nghìn hecta so với 2015 [6]. Ngoài ra, trồng và khai thác rừng trong thời gian qua cũng được mạnh. Độ che phủ rừng tăng từ 28 % năm 1942 lên 41 % năm 2014 [7]. Do vậy, đây sẽ là nguồn nguyên liệu lignocellulose dồi dào cho sự phát triển năng lượng sinh học ở Việt Nam hiện tại và tương lai. Thành phần chính của phế thải lignocellulose từ rừng có phế thải từ khai thác rừng tự nhiên và rừng trồng như ngọn, cành, lá, phế liệu gỗ, cây công nghiệp và cây ăn quả,.... Phế thải lignocellulose từ nông nghiệp cũng rất đa dạng. Một số nguồn phế thải lignocellulose chính từ nông nghiệp như rơm rạ, vỏ các loại hạt, thân cây mía, ngô, khoai mì, ... và các loại bèo, cỏ. Bằng phương pháp thu thập tài liệu, số liệu từ các báo cáo, nghiên cứu đã có, sinh khối lignocellulose thải của các nguồn thải chính của Việt Nam đã được xác định và được trình bày trong Bảng 1.

**Bảng 1.** Sinh khối lignocellulose từ phế thải nông nghiệp, rừng và cây ăn quả tại Việt Nam [8,9]

Phân loại	Nguồn	Khối lượng (triệu tấn/năm)
Phế thải nông nghiệp	Rơm rạ	61,9
	Trấu	5,6
	Thân lõi ngô khô	4,8
	Phế thải từ trồng mía	1,5
	Bã mía	5,0
	Lá và xơ dừa	5,8
	Thân cây mì	4,6
Phế thải rừng và cây ăn quả	Rừng tự nhiên	6,8
	Rừng trồng	3,7
	Đất không rừng	3,9
	Cây trồng phân tán	6,1
	Cây công nghiệp và ăn quả	2,4
Tổng		113,7

Từ những nguồn thải chính được liệt kê ở bảng 1, hằng năm, tổng lượng lignocellulose thải ở Việt Nam rất lớn, khoảng 113,7 triệu tấn/năm. Rơm rạ là nguồn thải lignocellulose nhiều nhất (54,4%) vì sản xuất nông nghiệp chính của Việt Nam là trồng lúa. Các nguồn thải lignocellulose khác tuy không nhiều như rơm rạ nhưng cũng rất đáng kể (bảng 1). Hơn nữa, nguồn nguyên liệu này được tái tạo hằng năm sau khi thu hoạch mùa vụ. Do vậy, với nguồn phế thải lignocellulose dồi dào và được tái tạo, Việt Nam hoàn toàn có ưu thế trong sản xuất ethanol sinh học thế hệ hai.

## 2.2 Công nghệ sản xuất ethanol từ lignocellulose

### 2.2.1 Cấu trúc lignocellulose

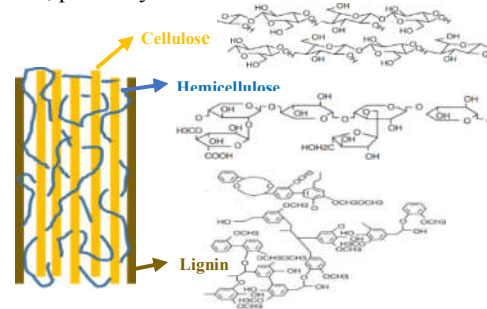
Lignocellulose là thành phần chính của thực vật thân gỗ và các thực vật khác như cỏ, lúa, ngô... gồm 3 hợp phần chính là cellulose, hemicellulose và lignin (hình 1).

Cellulose là các mạch thẳng dài của các đơn vị glucose liên kết sắp ngửa với nhau bằng liên kết 1,4  $\beta$  glucozit. Ngoài ra, phần lớn cellulose có cấu trúc tinh thể nên bền và có tính

đàn hồi. Do đó, cellulose khó bị hòa tan trong nước và một số dung môi [1,2,10,11].

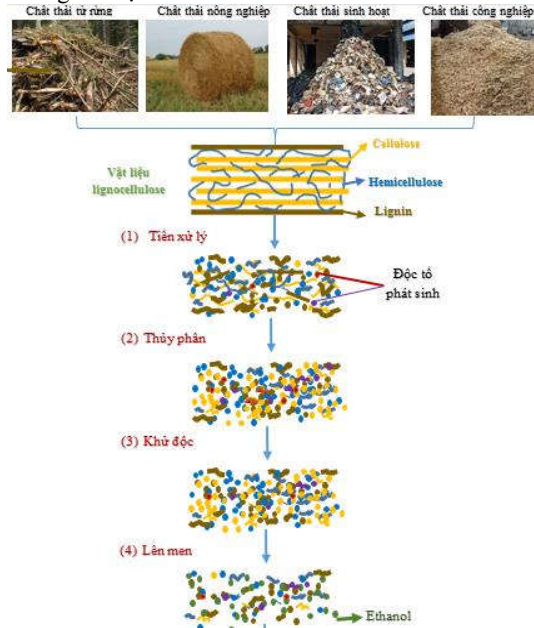
Hemicellulose cũng là các đại phân tử nhưng mạch được cấu tạo từ các đường năm cacbon pentose và các đường sáu cacbon hexose. Tuy nhiên, các đường năm cacbon là chủ yếu. Đối với các loại gỗ mềm và các loại cỏ, bèo,...., phần lớn đường pentose trong hemicellulose là mannose, trong khi đó đối với gỗ cứng là đường năm xylose. Do mạch hemicellulose ngắn hơn và có cả mạch nhánh nên so với cellulose thì hemicellulose dễ bị thủy phân hơn [2].

Thành phần thứ ba của lignocellulose là lignin. Lignin là một polymer dạng vòng được tổng hợp từ tiền phenylpropanoid, bao gồm p-coumaryl alcohol, coniferyl alcohol and sinapyl alcohol. Lignin có cấu tạo phức tạp và cấu trúc vững bền với thành phần các polymer này là khác nhau giữa các loài. Lignin có nhiệm vụ bảo vệ thành phần cellulose và hemicellulose của lignocellulose. Do vậy, lignin rất khó bị phân hủy.



**Hình 1.** Cấu trúc của sinh khối lignocellulose.

Do cấu trúc bền vững của lignocellulose (Hình 1), việc sản xuất ethanol sinh học từ sinh khối lignocellulose cần trải qua các giai đoạn chính như Hình 2.



**Hình 2.** Quy trình sản xuất ethanol từ lignocellulose.

### 2.2.2 Tiền xử lý (pretreatment)

Vì có mạng lignin bao bọc xung quanh nên muốn thu được các loại đường cấu thành cellulose và hemicellulose, đầu tiên sinh khối lignocellulose phải được loại bỏ cấu trúc lignin, được gọi là giai đoạn tiền xử lý. Nguyên tắc và ưu nhược điểm của các phương pháp tiền xử lý lignocellulose được tóm tắt trong Bảng 2.

**Bảng 2.** Các phương pháp tiền xử lý lignocellulose [12-14].

Phương pháp	Tác nhân	Tác động	Ưu điểm	Nhược điểm
Cơ học	Dao, máy nghiền	Giảm kích thước	Tạo sự đồng nhất vật liệu	Tốn năng lượng
Sinh học	Vi sinh vật (nấm mục)	Loại bỏ lignin	Ít tốn năng lượng. Không gây bào mòn thiết bị Không tạo ra độc tố	Hiệu quả thấp Tốn thời gian
Vật lý	Chiếu xạ (chùm electron, tia gama, vi sóng) Điện trường (phóng điện) Nhiệt thủy phân (nước nóng)	Tăng kích thước bề mặt, tăng kích thước lỗ Làm yếu cấu trúc lignin và hemicellulose Loại bỏ lignin và một phần hemicellulose	Chưa được nghiên cứu nhiều	Áp suất thấp và xylan ít bị thất thoát
	Nổ hơi (hơi nước áp suất cao)	Làm cấu trúc lignin và hemicellulose trương phồng và yếu đi	Đơn giản	Phân hủy hầu hết hemicellulose Phân hủy không hoàn toàn lignin
Hóa học	Tách chiết bằng kiềm (Ca(OH) <sub>2</sub> , NaOH, NH <sub>4</sub> OH)	Phá hủy cấu trúc tinh thể lignocellulose Phá hủy cấu trúc lignin và hemicellulose	Thời gian ngắn Hiệu quả cao	Ăn mòn thiết bị Hemicellulose cũng bị phân hủy Tạo độc tố
	Tách chiết bằng acid (H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , HCl, HNO <sub>3</sub> , H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )		Thời gian ngắn Hiệu quả cao	Ăn mòn thiết bị Hemicellulose cũng bị phân hủy Tạo độc tố
	Nổ ammonia	Thời gian ngắn Ít tạo độc tố Có thể thu hồi ammonia và lignin	Phân hủy hầu hết hemicellulose Phân hủy không hoàn toàn lignin	
	Chất oxy hóa (ozone, oxy hóa ướt)	Thời gian ngắn Hiệu quả cao Ít tạo độc tố	Chi phí cao Thích hợp cho lignocellulose có ít lignin	
	Dung môi hữu cơ	Thời gian ngắn Hiệu quả cao Ít tạo độc tố	Dễ cháy, nổ	
	Chất lỏng ion protic (PIL)	Loại bỏ lignin	Thời gian ngắn Hiệu quả cao Ít tạo độc tố Có thể thu hồi lignin	Hiệu quả loại bỏ lignin cao Phân hủy một phần hemicellulose

Cơ học là biện pháp đầu tiên trong tiền xử lý. Vật liệu lignocellulose sẽ được rửa loại bỏ tạp chất và phơi khô (nếu cần thiết). Tiếp theo chúng sẽ được chặt nhỏ và nghiền mịn (0.1-2 mm hoặc lớn hơn) để tạo thuận lợi cho sự đồng nhất, thâm nhập và bẻ gãy mạng lignin của các biện pháp tiền xử lý khác và thủy phân. Do vậy, tiền xử lý thường gồm cơ học kết hợp với các biện pháp tiền xử lý khác.

Tiền xử lý sinh học vật liệu lignocellulose là dùng vi sinh vật để phân hủy mạng lignin bao quanh cellulose và hemicellulose. Các sinh vật thường dùng là các nấm mục gỗ nâu, trắng vì chúng thường có enzyme peroxidases và laccase để phá hủy cấu trúc lignin ở pH trung tính trong môi trường hiếu khí và yếm khí. Đây là phương pháp rẻ tiền, thân thiện với môi trường. Do môi trường tiền xử lý sinh học trung tính và nhiệt độ thường nên hemicellulose không bị phân

hủy, do đó không gây ra sự thất thoát xylose. Ngoài ra, các độc tố cũng không phát sinh. Tuy nhiên, hiệu quả không cao và tốn rất nhiều thời gian [12,13].

Nhiệt thủy phân, chiếu xạ và nổ hơi là các phương pháp tiền xử lý vật lý áp dụng cho vật liệu lignocellulose. Chúng không có nhiều hiệu quả việc bẻ gãy cấu trúc lignin nhưng chúng làm phồng, yếu cấu trúc, tạo thuận lợi cho sự thủy phân các mạch nguyên liệu của giai đoạn kế tiếp [12].

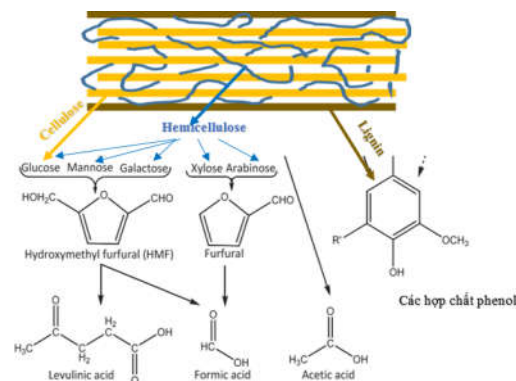
Tiền xử lý hóa học thường dùng các hóa chất như axit (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) hay bazơ (Ca(OH)<sub>2</sub>, NaOH, NH<sub>4</sub>OH), dung môi hay dung dịch ion để phá hủy cấu trúc lignin. Ưu điểm của các phương pháp này là hiệu quả cao và ít tốn thời gian. Tuy nhiên, chúng gây ăn mòn thiết bị và gây thất thoát hemicellulose (xylose) nếu tách bỏ hay rửa hỗn hợp tiền xử lý [14]. Ngoài ra, nếu tiếp theo giai đoạn thủy phân bằng enzyme được áp dụng thì vật liệu sau khi tiền xử lý bằng hóa chất phải được điều chỉnh pH về khoảng 4.5 - 5.0 trước khi thủy phân.

### 2.2.3 Thủy phân lignocellulose (hydrolysis)

Thủy phân là giai đoạn quan trọng cho sản xuất ethanol từ lignocellulose. Qua quá trình thủy phân, cellulose và hemicellulose giải phóng ra các đường đơn như glucose, xylose,... Hai phương pháp thủy phân phổ biến được trình bày trong Bảng 3.

**Bảng 3.** Các phương pháp thủy phân [2,10]

Phương pháp	Ưu điểm	Nhược điểm
Acid	Hiệu quả cao, chi phí thấp và thời gian ngắn so với thủy phân bằng enzym	Ăn mòn thiết bị Cần điều chỉnh pH sau thủy phân
Enzym	Thân thiện môi trường	Tốn thời gian và chi phí Hiệu quả không cao

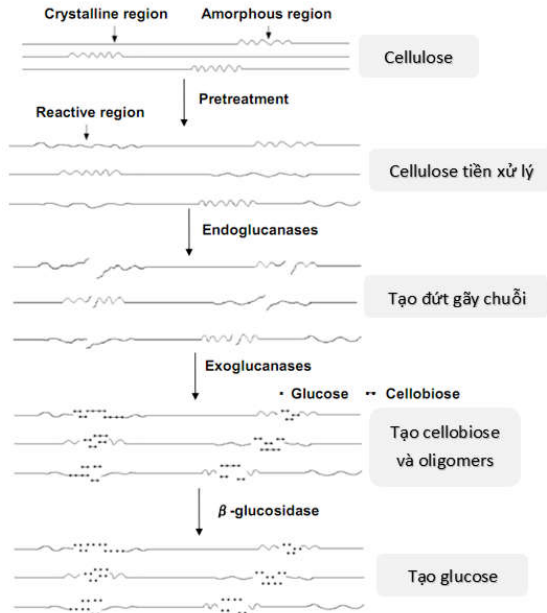


**Hình 3.** Sự hình thành các chất ức chế hoạt động vi sinh vật từ lignocellulose.

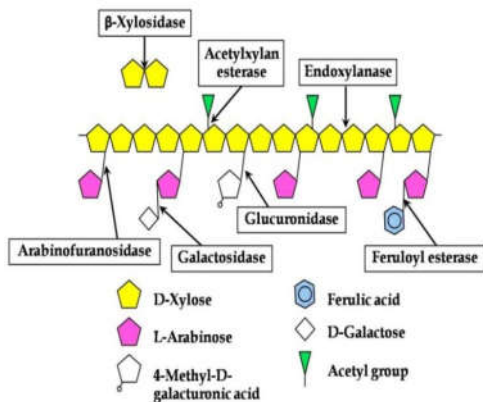
Mỗi phương pháp thủy phân có ưu nhược điểm riêng. Phương pháp thủy phân hóa học có ưu thế hơn thủy phân sinh học vì thường cho hiệu quả thủy phân cao và thời gian ngắn. Tuy nhiên, vì môi trường lên men cần pH hơi acid (khoảng 5) nên sẽ phải điều chỉnh pH nếu thủy phân bằng acid. Tuy vậy, có thể kết hợp với tiền xử lý bằng acid, phương pháp này gọi là thủy phân bằng acid hai giai đoạn, và acid hay dùng là sulfuric. Phương pháp này cho hiệu quả thủy phân rất cao [15,16]. Tuy nhiên, vì sự thủy phân bằng hóa chất thường xảy ra trong điều kiện đặc biệt, nhiệt độ cao, áp suất cao nên dễ tạo ra các độc tố hay chất kìm hãm như furfural, hydroxymethyl furfural (HMF) và các hợp chất phenol (Hình 2 và 3), do vậy, khử độc là giai đoạn tiếp theo cần được tiến hành [15,16].

Thủy phân bằng enzym được tiến hành bằng cách thêm enzym thương mại hay nuôi cấy vi sinh vật để tiết enzym cho

sự thủy phân cellulose và hemicellulose. Hệ enzyme cellulose bao gồm (1) Endo-1,4-β-glucanases (EG), (2) Exo-1,4-β-glucanases or cellobiohydrolases (CBH) and (3) β-glucosidases (EC) [15]. Hệ enzyme phân hủy hemicellulose bao gồm endo-1,4-β-xylanase (endoxylanase), 1,4-β-xylosidase, α-L-arabinofuranosidase, α-4-O-methyl-D-glucuronidase, acetyl xylan esterase, ferulic acid esterase and p-coumaric acid esterase, acetyl-4-O-methylglucuronoxylan [18]. Chức năng và hoạt động của các enzyme này được thể hiện ở Hình 4 và 5.



Hình 4. Hoạt động của các enzyme cellulose (phỏng theo [17])



Hình 5. Hoạt động của các enzym hemicellulose (phỏng theo [18])

Sau quá trình thủy phân, khối lượng các đường thu được từ quá trình lên men như sau:

- Từ pentan/xylan thành đường pentose/xylose  
 $n C_5H_8O_4 + n H_2O \rightarrow n C_5H_{10}O_5$   
 $n \text{ 132 ĐVC}^1 \quad n \text{ 18 ĐVC} \quad n \text{ 150 ĐVC}$   
 $(1 \text{ gam}) \quad (0.136 \text{ gam}) \quad (1.136 \text{ gam})$
- Từ hexan/glucan thành hexose/glucose  
 $n C_6H_{10}O_5 + n H_2O \rightarrow n C_6H_{12}O_6$   
 $n \text{ 162 ĐVC} \quad n \text{ 18 ĐVC} \quad n \text{ 180 ĐVC}$   
 $(1 \text{ gam}) \quad (0.111 \text{ gam}) \quad (1.111 \text{ gam})$

<sup>1</sup> Đơn vị cacbon.

### 2.2.4 Giai đoạn khử độc (detoxification)

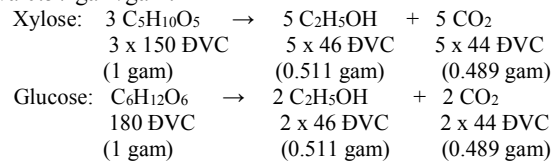
Vì sự hình thành các chất kìm hãm vi sinh vật trong quá trình tiền xử lý và thủy phân (thường bằng phương pháp hóa học), bước khử độc được tiến hành để loại bỏ các độc tố này. Đầu tiên, sản phẩm thủy phân được trung hòa, sau đó các độc chất thường được loại bỏ bằng cơ chế hấp phụ. Bay hơi và hút chân không các chất độc hữu cơ dễ bay hơi cũng được áp dụng, tuy nhiên, nồng độ một số độc chất không bay hơi cũng tăng. Do vậy, cần phải xem xét khi áp dụng biện pháp khử độc. Ngoài ra, khử độc bằng cách kiềm hóa sản phẩm thủy phân khi thủy phân bằng acid cũng được tiến hành. Nguyên tắc của phương pháp này là các độc tố hay chất kìm hãm sẽ lắng tụ lại, tách ra khỏi hỗn hợp thủy phân. Loại trừ độc tố bằng vi sinh vật cũng được xem là một giải pháp tiềm năng. Tuy nhiên, giải pháp này chưa được áp dụng nhiều vì chưa có vi sinh vật loại bỏ các chất ức chế một cách hiệu quả [2].

Việc khử độc không những tốn chi phí mà phương pháp nào cũng làm thất thoát một lượng các đường khi loại bỏ độc chất nên cần phải cân nhắc có nên tiến hành khử độc hay không. Vì vậy, lựa chọn phương pháp tiền xử lý, thủy phân ít tạo ra chất cản trở, ít làm thất thoát các loại đường là điều quan trọng trong sản xuất ethanol từ lignocellulose. Ngoài ra, lựa chọn các chủng vi sinh vật lên men có sức chống chịu cao với độc tố và các chất cản trở là xu hướng hiện nay để công nghiệp hóa quy trình sản xuất ethanol từ lignocellulose.

### 2.2.5 Lên men đường (fermentation)

Lên men đường là quá trình sinh học trong đó các đường như glucose, xylose có thể được biến đổi thành năng lượng cho hoạt động tế bào và các sản phẩm của quá trình trao đổi chất như ethanol, cacbon dioxide CO<sub>2</sub> và các sản phẩm phụ như glycerol từ glucose hay sản phẩm trung gian xylitol từ xylose.

Lượng ethanol lý thuyết được tạo ra là 0.511 gam/gam cả đường năm (xylose) và đường sáu cacbon (glucose). Như vậy, lượng ethanol tạo ra từ xylan và glucan lần lượt là 0,58 và 0.57 gam/gam.

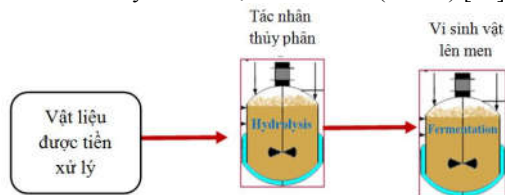


Bảng 4. Các kiểu lên men ethanol từ lignocellulose phổ biến [17].

Kiểu lên men	Ưu điểm	Nhược điểm
Thủy phân và lên men tách biệt - Separate Hydrolysis and Fermentation (SHF)	Hiệu suất cao	Quy trình phức tạp Chi phí cao
Thủy phân và lên men đồng thời-Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)	Quy trình đơn giản Chi phí thấp hơn SHF	Hiệu suất thấp, khó áp dụng khi tải lượng lớn
Quy trình sinh học hợp nhất - Consolidated Bioprocessing (CBP)	Quy trình đơn giản nhất Chi phí thấp nhất Thân thiện môi trường	Hiệu suất thấp, chưa tìm được vi sinh vật hiệu quả khi tải lượng lớn.

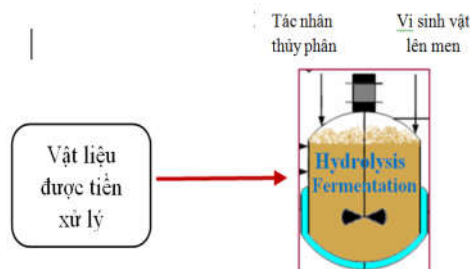
Để lên men ethanol từ lignocellulose, nhiều kiểu lên men được nghiên cứu và áp dụng. Tuy nhiên, ba kiểu lên men thường được áp dụng được tóm tắt trong Bảng 4.

Thủy phân và lên men tách biệt là kiểu lên men đầu tiên trong sản xuất ethanol từ lignocellulose. Trong đó quá trình thủy phân và lên men được vận hành ở những điều kiện thuận lợi nên hiệu suất của cả hai quá trình đều cao. Nếu quá trình thủy phân tạo ra nhiều độc tố thì khử độc có thể được tiến hành trước khi cấy vi sinh vật để lên men (hình 6) [16].



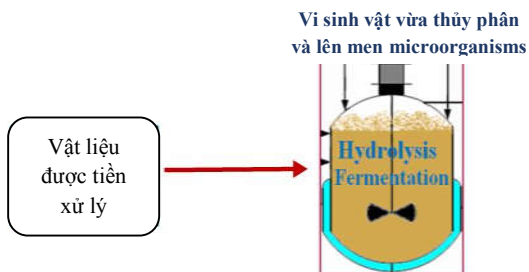
Hình 6. Kiểu thủy phân và lên men tách biệt.

Khác với thủy phân và lên men tách biệt là thủy phân và lên men đồng thời, trong đó thủy phân và lên men được thực hiện cùng lúc trong cùng một thiết bị. Do đó, quá trình thủy phân ở đây thường là thủy phân bằng enzyme thương mại và enzyme được đưa vào thiết bị khi cấy vi sinh vật để lên men (hình 7). Do thủy phân bằng enzyme và cả hai quá trình thủy phân và enzyme không diễn ra ở những điều kiện tối ưu nên hiệu suất thấp và tốn thời gian hơn thủy phân và lên men tách biệt [16].



Hình 7. Quy trình thủy phân và lên men đồng thời.

Quy trình sản xuất ethanol từ lignocellulose thu hút nhiều quan tâm gần đây là quá trình sinh học hợp nhất. Đây là quy trình có chi phí thấp, thân thiện với môi trường vì các quá trình diễn ra trong cùng một thiết bị và chỉ dùng vi sinh vật để thực hiện các quá trình này (hình 8). Tuy nhiên, vì đảm nhiệm nhiều nhiệm vụ cùng lúc nên hầu như chưa có một vi sinh vật nào có thể đáp ứng một cách hiệu quả các công việc của quy trình sinh học hợp nhất. Mặc dù vậy, đây là xu hướng đầy triển vọng của tương lai [16].



Hình 8. Quy trình sinh học hợp nhất.

### 2.2.6 Vi sinh vật cho sản xuất ethanol từ lignocellulose

Trong sản xuất ethanol từ lignocellulose, vi sinh vật dùng các enzyme tự tổng hợp để thực hiện việc tiền xử lý, phân hủy cellulose, hemicellulose hay lên men các đường. Enzym thủy phân thường được thu từ các loài nấm sợi như

*Trichoderma reesei* hay *Aspergillus niger* hoặc cả hai, từ vi khuẩn như *Clostridium thermocellum* và nhiều loài khác. Việc thủy phân cellulose và hemicellulose cần sự hợp lực của nhiều loại enzyme [10]. Các enzym này có thể tách chiết riêng và đưa vào thiết bị thủy phân hay được dùng trực tiếp từ sự điều tiết enzym của các nấm thủy phân được nuôi cấy trong thiết bị. Trong kiểu lên men đồng thời, các nấm này còn có thể nuôi cấy ghép cùng lúc với các vi sinh vật lên men.

Do xylan dễ dàng bị thủy phân, bị mất trong quá trình tiền xử lý, hơn nữa vi sinh vật rất khó sử dụng xylose nên trước đây công nghệ sản xuất ethanol từ lignocellulose chủ yếu là từ glucose. Do đó, vi sinh vật thường được nuôi cấy là các chủng *Saccharomyce cerevisiae*, *Zymomonas mobilis*,... với hiệu suất ethanol và ngưỡng ethanol cao [10]. Tuy nhiên, ngày nay để nâng cao hiệu quả sản xuất ethanol từ lignocellulose và nâng tính cạnh tranh của ethanol sinh học từ lignocellulose với các nguồn nguyên liệu khác, sự lên men xylose đồng thời với glucose được quan tâm. Do vậy, tiền xử lý không nên được tiến hành hoặc phải được đi liền với thủy phân (không tách rửa vật liệu sau tiền xử lý). Ngoài ra, khử độc cũng không nên tiến hành để tránh thất thoát đường được thủy phân. Do đó, vi sinh vật thường là những giống có sức chống chịu với các chất ức chế cao. Và hơn hết, vi sinh vật lên men phải có khả năng tạo ethanol từ các đường năm carbon như xylose cùng lúc với glucose. Một số vi sinh vật có khả năng lên men ethanol từ xylose được biết đến thời gian qua như *Candida shehatae*, *Pichia stipites*,... nhưng hiệu quả sản xuất ethanol vẫn còn thấp [10]. Để lên men đồng thời hay vừa thủy phân, vừa lên men, các vi sinh vật có thể cùng nuôi cấy để thực hiện đồng thời các nhiệm vụ. Ngoài ra, công nghệ biến đổi gen vi sinh vật được quan tâm nhiều gần đây để tạo ra các vi sinh vật có các đặc tính mong muốn cho quá trình sản xuất ethanol sinh học từ lignocellulose. Tuy nhiên, quy trình sản xuất ethanol hợp nhất CBP còn nhiều hạn chế về vi sinh vật nhưng đây sẽ là những hướng đi đầy hứa hẹn cho sản xuất ethanol từ lignocellulose.

### 2.2.7 Một số nghiên cứu sản xuất ethanol sinh học từ phế thải lignocellulose ở Việt Nam

Trước xu hướng phát triển ethanol sinh học thế hệ thứ hai, Việt Nam cũng đã có một số dự án và nghiên cứu sản xuất ethanol rất khả quan. Từ năm 2009 đến 2014, được sự hỗ trợ về công nghệ và tài chính của Cơ quan hợp tác quốc tế Nhật Bản (JICA), Đại học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh đã kết hợp Viện Khoa học Công nghệ - Đại học Tokyo triển khai dự án “*Kết hợp bền vững nền nông nghiệp địa phương với công nghiệp chế biến biomass*”. Bằng phương pháp nổi hơi cho tiền xử lý, dùng enzyme để thủy phân trước khi lên men, từ rơm rạ đã tạo ra ethanol sinh học với hiệu suất đạt 5% (150-180 kg rơm rạ tươi sẽ cho 20 lít cồn 97%, tương đương 0,12 lít cồn/kg rơm rạ tươi) [19]. Một nghiên cứu khác với nguyên liệu là thân cây ngô, Nguyễn Xuân Cự và cộng sự đã tiến hành tiền xử lý bằng acid sulfuric, thủy phân bằng vi sinh vật trước khi lên men để tạo ra 0,33 lít cồn/kg thân ngô khô [20]. Ngoài ra, còn có rất nhiều các nghiên cứu chuyên sâu về tiền xử lý, thủy phân hay lên men khác.

## 3. KẾT LUẬN

Với nguồn nguyên liệu dồi dào tại chỗ (113,7 triệu tấn/năm), Việt Nam có ưu thế để sản xuất ethanol sinh học thế hệ hai từ nguồn lignocellulose thải. Đây là hướng đi có tính khoa học và thực tiễn cao, có ý nghĩa về mặt môi trường, năng lượng và tăng lợi ích sản xuất cho nông, lâm nghiệp.

Tuy nhiên, để triển khai được quá trình sản xuất này, rất cần sự tiếp cận, nghiên cứu sâu về công nghệ cũng như sự hỗ trợ, định hướng của chính phủ trong sản xuất và tiêu dùng ethanol sinh học thế hệ hai.

#### 4. CẢM ƠN

Tác giả xin cảm ơn cơ quan hợp tác quốc tế Nhật Bản (JICA), viện Công nghệ Tokyo, Nhật Bản, Trường Kỹ thuật Diliman – Đại học Philipin, Philipin và Trường Đại học Lạc Hồng đã tạo điều kiện về thời gian, tài chính để tác giả chính có thể học tập, tiếp cận hướng nghiên cứu này.

#### 5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Z. Anwar, M. Gulfranz, M. Irshad, “Agro-industrial lignocellulosic biomass a key to unlock the future bio-energy: A brief review”, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, vol. 7, Issue 2, 163 -173, 2014.
- [2] V. Babu, A. Thapliyal, J. K. Patel, *Biofuels Production*, Scrivener Publishing LLC, 2013, chapter 4.
- [3] M. Wang, J. Han, J.B. Dunn, H. Cai, A. Elgowainy, “Well-to-wheels energy use and greenhouse gas emissions of ethanol from corn, sugarcane and cellulosic biomass for US use”, *Environ. Res. Lett.* 7: 045905, 2012.
- [4] Ngành dầu khí Việt Nam, “ Báo cáo ngành lần đầu”, 2013. [http://images1.cafef.vn/Images/Uploaded/DuLieuDownload/P\\_hanTichBaoCao/DauKhi\\_270114\\_VPBS.pdf](http://images1.cafef.vn/Images/Uploaded/DuLieuDownload/P_hanTichBaoCao/DauKhi_270114_VPBS.pdf)
- [5] Petrotimes, “Bức tranh dầu thô 2014”, Báo xăng dầu, 2014. <http://xangdau.net/thong-tin-chung/nganh-xang-dau/buc-tranh-dau-tho-2014-38210.html>
- [6] Dương Thanh, “Năm 2020, tăng diện tích đất nông nghiệp trên 27.000 ha”, Báo Nông thôn Việt, 2016. <http://nongthonviet.com.vn/nong-nghiep/201603/nam-2020-tang-dien-tich-dat-nong-nghiep-tren-27000ha-663004>
- [7] Thảo Nguyên, “Diện tích rừng đang tăng nhanh và ổn định”, Báo dân trí, năm 2014. <http://dantri.com.vn/xa-hoi/dien-tich-rung-dang-tang-nhanh-va-on-dinh-1417801199.htm>
- [8] Nguyễn Quang Khải, “Những vấn đề phát triển năng lượng sinh khối của Việt Nam”, Hội thảo Phát triển năng lượng bền vững ở Việt Nam. <http://e5.nhienlieusinhhoc.com.vn/SharedFiles/Download.asp?fileid=582>
- [9] Phan Thi Pham, “Ethanol production from cassava stem in Vietnam: Potential for CO<sub>2</sub> emission reduction aspect and an efficient ethanol production process”, Ph.D Dissertation, University of the Philippines-Diliman, 2016.
- [10] B. Joshi, M.R. Bhatt, D. Sharma, J. Joshi, R. Malla, L. Sreerama, “Review: Lignocellulosic ethanol production”, *Biotechnology and Molecular Biology Review*, Vol. 6(8), pp. 172-182, 2011.
- [11] S. I. Mussatto and J. A. Teixeira, “Lignocellulose as raw material in fermentation processes”, *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbial Biotechnology*, 2010.
- [12] P. Kumar, D.M. Barrett, M.J. Delwiche, P. Stroeve, “Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production”, *Ind. Eng. Chem. Res.*, Article ASAP • DOI: 10.1021/ie801542g, 2009.
- [13] S.A. Kumar and A. Pushpa, “Microbial pretreatment of lignocellulosic materials and production of bioethanol”, *J. Environ. Res. Develop.* Vol. 7 No. 1A, 2012.
- [14] C. Conde-Mejía, A. Jiménez-Gutiérrez, M. El-Halwagi, “A comparison of pretreatment methods for bioethanol production from lignocellulosic materials”, *Process Safety and Environmental Protection* 90:189–202, 2012.
- [15] P. Binod, K.U. Janu, R. Sindhu, A. Pandey, Chapter 10- Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass for Bioethanol Production. In: A. Pandey, S. Ricke, C. Dussap, G. Gnansounou, “Biofuels -Alternative Feedstocks and Conversion Processes”, E. Elsevier Inc, 2011, chapter 10.
- [16] J. L. Jönsson, B. Alriksson, N. Nilvebrant, “Bioconversion of lignocellulose: inhibitors and detoxification” *Biotechnology for Biofuels* 6:16, 2013.
- [17] M.J. Taherzadeh and K. Karimi, *Enzyme-based ethanol*, *Bio Resources* 2(4), 707-738, 2007.
- [18] K. Ratanakhanokchai, R. Waeonukul, P. Pason, C. Tachaapaikoon, K.L. Kyu, K. Sakka, A. Kosugi, Y. Mori, “Paenibacillus curdlanolyticus Strain B-6 Multienzyme Complex: A Novel System for Biomass Utilization”, *InTech*. 2013, <http://dx.doi.org/10.5772/51820>
- [19] Hoàng Hợp, Tường Hân, “Nghiên cứu sản xuất xăng sinh học từ rơm rạ”, 2014. <http://www.baomoi.com/nguyen-cuu-san-xuat-xang-sinh-hoc-tu-rom-ra/c/9414527.epi>.
- [20] Nguyễn Xuân Cự và cộng sự, “Nghiên cứu quy trình công nghệ sản xuất ethanol sinh học từ cây ngô”, Đề tài nghiên cứu cấp quốc gia, Đại học quốc gia Hà Nội, 2011.

#### TIỂU SỬ TÁC GIẢ



##### Phan Thị Phẩm

Năm sinh 1984, tại Tây Sơn, Bình Định. Tốt nghiệp Đại học tại Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên, TP. Hồ Chí Minh năm 2006, Thạc sĩ tại Trường Đại học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh năm 2010, Tiến sĩ Kỹ thuật Môi Trường năm 2016 theo chương trình hợp tác giữa trường Kỹ thuật Diliman, Đại học Philipin và Viện Công nghệ Tokyo, Nhật Bản. Tác giả hiện đang là giảng viên Khoa Kỹ thuật Hóa học và Môi trường, Đại học Lạc Hồng. Lĩnh vực nghiên cứu: Giám phát thải CO<sub>2</sub>, tái chế chất thải rắn hữu cơ (sản xuất phân hữu cơ và sản xuất năng lượng sinh học) và nuôi trồng tảo phục vụ sản xuất nhiên liệu.

Email: pham8384@gmail.com