

Cellulase Enzyme for Bioethanol Production CAS 9012-54-8: enzyme thủy phân cellulose cho sản xuất ethanol sinh học

Nhóm Nghiên cứu Enzymes.bio · Wellington, New Zealand · June 20, 2026

Cellulase Enzyme for Bioethanol Production CAS 9012-54-8 là chế phẩm enzyme được dùng để chuyển cellulose trong sinh khối lignocellulose thành đường có thể lên men, đặc biệt là glucose, trước hoặc trong bước lên men ethanol. Cellulase không tự tạo ethanol; nó thực hiện bước thủy phân polysaccharide khó tan, còn ethanol được tạo ra bởi vi sinh vật lên men như nấm men hoặc vi khuẩn phù hợp. Trong sản xuất bioethanol thế hệ hai, hiệu quả của cellulase phụ thuộc mạnh vào tiền xử lý sinh khối, độ tiếp cận cellulose, cân bằng enzyme bổ trợ và cấu hình quy trình ^[1].

Cellulase CAS 9012-54-8 là gì trong bối cảnh bioethanol?

Cellulase CAS 9012-54-8 là tên định danh thương mại – kỹ thuật cho nhóm enzyme có khả năng thủy phân cellulose, polymer gồm các đơn vị glucose liên kết với nhau bằng liên kết β -1,4-glycosidic. Trong ứng dụng **bioethanol từ sinh khối lignocellulose**, cellulase được dùng để cắt cellulose trong rơm rạ, thân cây ngô, bã mía, lõi ngô, phụ phẩm giấy, cardboard hoặc các dòng phụ phẩm giàu xơ thành đường lên men được ^[2].

Điểm quan trọng là “cellulase” trong thực tế thường không phải một phân tử đơn lẻ. Hệ cellulase hiệu quả thường bao gồm nhiều hoạt tính phối hợp: endoglucanase cắt bên trong chuỗi cellulose, exoglucanase hoặc cellobiohydrolase tấn công từ đầu mút chuỗi, và β -glucosidase chuyển cellobiose thành glucose. Sự phối hợp này giải thích vì sao cellulase được xem là enzyme trung tâm trong bước đường hóa của ethanol thế hệ hai ^[1].

Enzymes.bio cung cấp sản phẩm **Cellulase Enzyme for Bioethanol Production CAS 9012-54-8** với vai trò là nhà cung cấp enzyme thương mại, không phải nhà sản xuất enzyme hay phòng thí nghiệm nghiên cứu. Sản phẩm được bán trực tiếp online theo đơn vị 1 kg; CoA và SDS được cung cấp kèm theo khi đặt hàng để hỗ trợ hồ sơ chất lượng và an toàn sử dụng.

Vì sao cellulase cần thiết cho ethanol sinh học thế hệ hai?

Ethanol nhiên liệu truyền thống thường được sản xuất từ đường hoặc tinh bột để lên men, chẳng hạn mía, củ cải đường hoặc ngô hạt. Ngược lại, **ethanol sinh học thế hệ hai** hướng đến nguyên liệu lignocellulose — các phụ phẩm nông nghiệp và công nghiệp không trực tiếp cạnh tranh với thực phẩm, nhưng chứa carbon ở dạng khó tiếp cận hơn. Cellulase là cầu nối giữa cellulose không tan và đường có thể lên men [3].

Sinh khối lignocellulose có cấu trúc bền vì cellulose được bao quanh bởi hemicellulose và lignin. Cellulose tạo khung sợi; hemicellulose lấp đầy và liên kết chéo; lignin tạo lớp “keo” thơm, kỵ nước, bảo vệ thành tế bào thực vật khỏi phân giải sinh học. Cấu trúc này tốt cho cây, nhưng bất lợi cho thủy phân enzyme vì cellulase chỉ hoạt động hiệu quả khi tiếp cận được bề mặt cellulose [4].

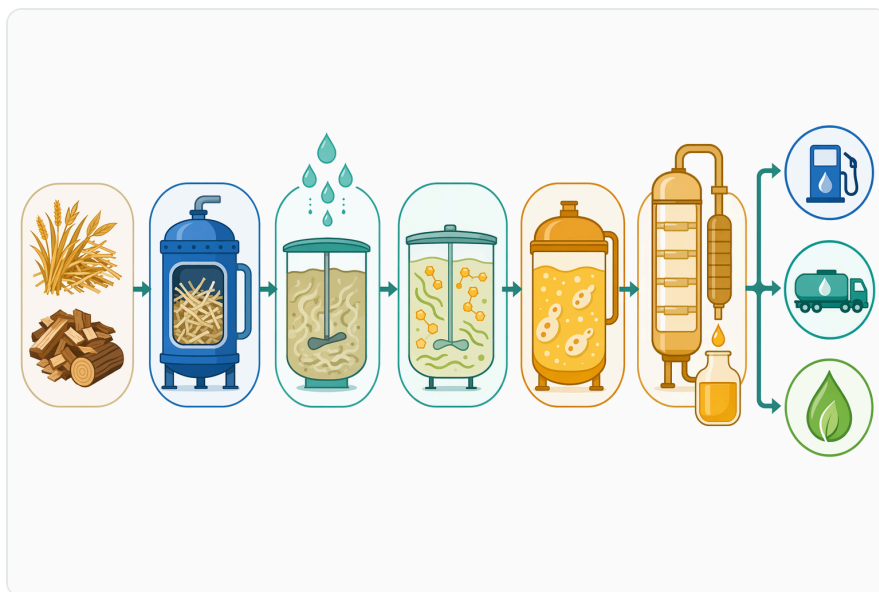


Figure 1. 셀룰라아제는 바이오매스 전처리와 발효 사이에서 접근 가능한 셀룰로오스를 발효 가능한 당으로 전환한다.

Do đó, trong đa số quy trình bioethanol từ lignocellulose, cellulase không đứng một mình mà đi sau bước tiền xử lý. Tiền xử lý có nhiệm vụ mở cấu trúc sinh khối, giảm rào cản vật lý – hóa học, làm lộ sợi cellulose và tăng diện tích tiếp xúc cho enzyme. Các tổng quan về bioethanol lignocellulose đều xem tiền xử lý và thủy phân enzyme là hai nút kỹ thuật quyết định khả năng chuyển đổi sinh khối thành ethanol [5].

Cơ chế hoạt động: cellulase “mở khóa” cellulose như thế nào?

Cellulose có thể hình dung như một chuỗi dài các mắt xích glucose xếp thẳng và kết tinh một phần. Vùng cellulose kết tinh rất khó bị tấn công vì các chuỗi polymer được giữ bởi mạng liên kết hydro chặt chẽ, trong khi vùng vô định hình dễ bị enzyme tiếp cận hơn. Endoglucanase thường khởi đầu bằng cách cắt ngẫu nhiên tại các vùng dễ tiếp cận, tạo thêm đầu chuỗi mới cho các enzyme khác [6].

Sau khi endoglucanase tạo điểm cắt, cellobiohydrolase hoặc exoglucanase tiếp tục “gặm” từ đầu chuỗi để giải phóng cellobiose và oligosaccharide ngắn. Bước này rất quan trọng vì cellulose không tan không thể được nấm men thông thường sử dụng trực tiếp. Sự phân giải theo chuỗi giúp chuyển dần polymer rắn thành sản phẩm hòa tan, tạo nền cho bước tạo glucose [7].

β -glucosidase hoàn tất chuỗi phản ứng bằng cách thủy phân cellobiose thành glucose. Nếu β -glucosidase không đủ hoặc bị ức chế, cellobiose có thể tích lũy và làm giảm hiệu suất của các cellulase khác. Vì vậy, trong thiết kế quy trình ethanol sinh học, β -glucosidase không chỉ là enzyme “phụ” mà là mắt xích kiểm soát dòng chuyển hóa từ cellulose sang glucose [8].

Cơ chế tổng thể có tính hiệp đồng: endoglucanase tạo điểm tấn công, exoglucanase/cellobiohydrolase giải phóng cellobiose, β -glucosidase giải phóng glucose. Trong sinh khối thực tế, xylanase và các hemicellulase khác cũng có thể làm tăng hiệu quả thủy phân bằng cách loại bỏ lớp hemicellulose che chắn cellulose, tạo điều kiện cho cellulase tiếp cận cơ chất tốt hơn [9].

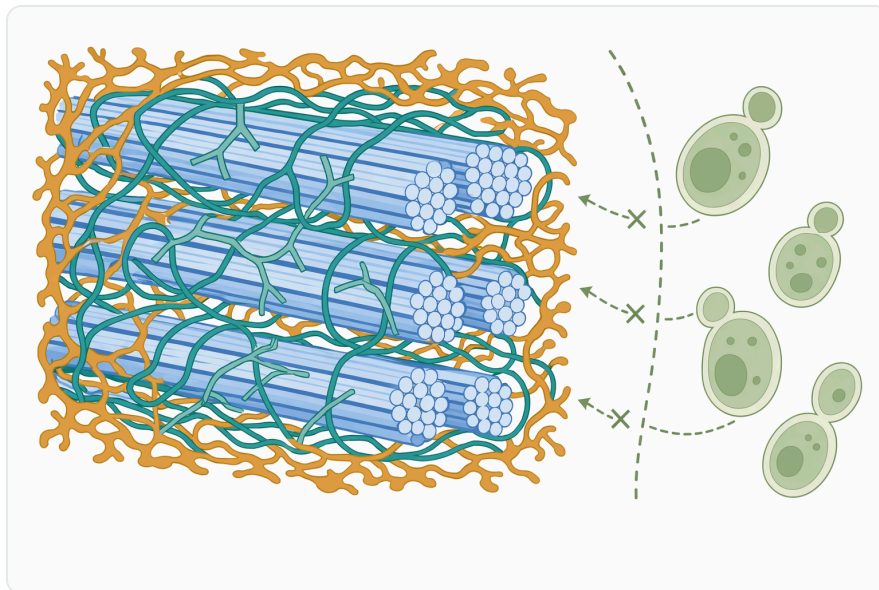


Figure 2. 셀룰로오스는 헤미셀룰로오스와 리그닌으로 보호된 불용성 미세섬유 안에 포도당 단위가 갇혀 있어 직접 발효하기 어렵다.

Vị trí của cellulase trong quy trình sản xuất bioethanol

Trong một quy trình điển hình, sinh khối được thu gom, giảm kích thước, tiền xử lý, điều chỉnh môi trường phản ứng, thủy phân bằng enzyme và sau đó lên men để tạo ethanol. Cellulase nằm ở bước thủy phân hoặc đường hóa, tức giai đoạn chuyển phần carbohydrate rắn thành đường hòa tan. Nếu bước này kém hiệu quả, vi sinh vật lên men sẽ thiếu cơ chất và sản lượng ethanol bị giới hạn ^[10].

Có hai cấu hình phổ biến: thủy phân và lên men tách riêng, hoặc đường hóa và lên men đồng thời. Với thủy phân tách riêng, điều kiện cho enzyme và vi sinh vật có thể được tối ưu độc lập, nhưng glucose có thể tích lũy và gây ức chế ngược. Với đường hóa và lên men đồng thời, glucose được vi sinh vật tiêu thụ ngay khi hình thành, giúp giảm tích lũy sản phẩm trung gian và có thể đơn giản hóa dòng công nghệ ^[5].

Cấu hình quy trình	Cách cellulase được dùng	Điểm mạnh kỹ thuật	Hạn chế cần tính đến
Thủy phân riêng rồi lên men	Cellulase được bổ sung để tạo dịch đường trước khi đưa vào lên men	Dễ theo dõi riêng bước thủy phân; có thể chọn điều kiện thuận lợi cho enzyme	Đường có thể tích lũy; cần quản lý ức chế và nguy cơ nhiễm
Đường hóa và lên men đồng thời	Cellulase và vi sinh vật lên men hoạt động trong cùng hệ	Giảm tích lũy glucose/cellobiose; có thể rút gọn dòng quy trình	Điều kiện phải dung hòa giữa enzyme và vi sinh vật
Hệ tích hợp với enzyme hỗ trợ	Cellulase phối hợp xylanase, hemicellulase hoặc enzyme phụ trợ khác	Phù hợp sinh khối phức tạp có hemicellulose cao	Cần cân bằng cocktail enzyme theo nguyên liệu
Quy trình có enzyme bất động	Cellulase được cố định trên vật liệu mang để tăng khả năng thu hồi hoặc tái sử dụng	Có tiềm năng giảm thất thoát enzyme trong một số mô hình	Phụ thuộc vật liệu mang, khuếch tán cơ chất và chi phí hệ thống

Các nghiên cứu về cellulase bất động cho thấy việc cố định enzyme trên vật liệu mang có thể tăng khả năng thu hồi enzyme và hỗ trợ thủy phân phụ phẩm nông nghiệp trong định hướng sản xuất bioethanol. Tuy nhiên, đây là một hướng công nghệ riêng, không nên mặc định rằng mọi quy trình thương mại đều sử dụng enzyme bất động ^[11].

Nguyên liệu phù hợp: không phải sinh khối nào cũng giống nhau

Cellulase có thể được ứng dụng cho nhiều dòng nguyên liệu lignocellulose, nhưng tốc độ thủy phân và lượng đường thu được phụ thuộc rất lớn vào thành phần và lịch sử xử lý của nguyên liệu. Rơm rạ, thân cây ngô, bã mía, lõi ngô và các phụ phẩm nông nghiệp khác thường có cellulose đáng kể nhưng cũng

chứa lignin và hemicellulose, nên cần tiền xử lý để tăng khả năng enzyme tiếp cận [12].

Corn stover là ví dụ điển hình cho nguyên liệu ethanol thế hệ hai vì có sẵn ở quy mô lớn sau thu hoạch ngô. Các tổng quan gần đây về bioethanol từ corn stover nhấn mạnh rằng tối đa hóa sản xuất ethanol không chỉ là bổ sung cellulase, mà còn cần tối ưu tiền xử lý, đường hóa, lên men và quản lý chất ức chế phát sinh từ quá trình xử lý sinh khối [3].

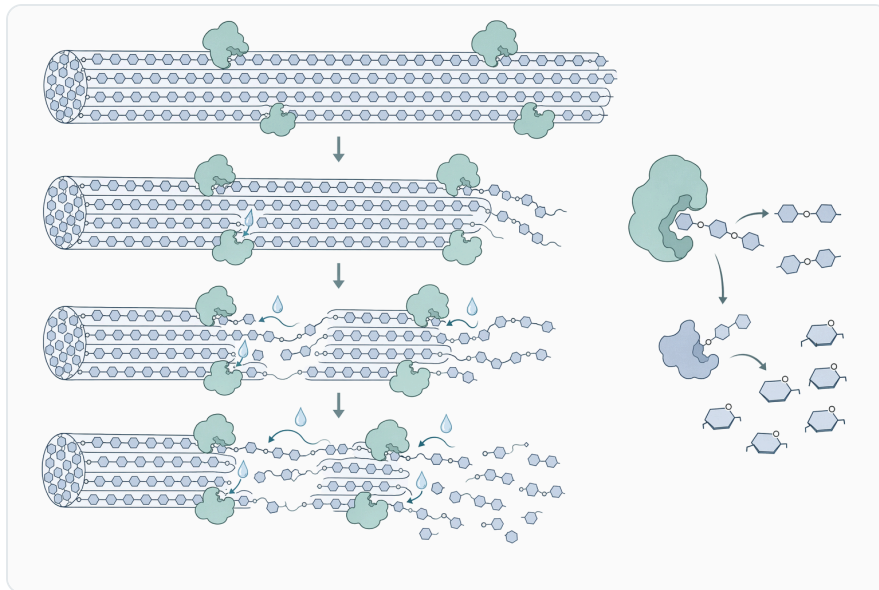


Figure 3. 엔도글루카나아제, 셀로비오하이드롤라아제, β -글루코시다아제가 순차적으로 작용하여 셀룰로오스 사슬을 셀로비오스와 포도당으로 전환한다.

Cardboard và giấy thải có đặc điểm khác: chúng đã trải qua một phần quá trình xử lý công nghiệp, nên cấu trúc lignocellulose có thể dễ tiếp cận hơn so với sinh khối thô. Nghiên cứu về sản xuất đồng thời cellulase và xylanase bởi *Penicillium occitanis* Pol6 đã xem cardboard waste như một cơ chất bền vững có tiềm năng cho ứng dụng bioethanol, cho thấy dòng thải cellulose sau tiêu dùng cũng có thể được đưa vào mô hình valorization [13].

Một số nghiên cứu cũng xem xét phụ phẩm nông nghiệp như vật liệu nuôi cấy vi sinh vật sản xuất cellulase, ví dụ cám gạo đã tách dầu hoặc các dòng phụ phẩm giàu carbon. Điều này phản ánh một hướng phát triển rộng hơn: không chỉ dùng enzyme để xử lý phụ phẩm, mà còn tận dụng phụ phẩm làm nền sản xuất enzyme hoặc enzyme cocktail cho biorefinery [14].

Tiền xử lý và vai trò của lignin: yếu tố quyết định khả năng tiếp cận enzyme

Lignin là một trong những rào cản lớn nhất đối với cellulase. Nó có thể bao bọc vi sợi cellulose, làm giảm diện tích bề mặt tiếp xúc, đồng thời gây hấp phụ không hữu ích đối với enzyme. Khi enzyme bị giữ trên lignin thay vì cellulose, hoạt tính thực tế đối với cơ chất mục tiêu giảm dù lượng enzyme bổ sung

không thay đổi [4].

Các phương pháp tiền xử lý như acid loãng, kiềm, hơi nước áp lực, organosolv hoặc các biến thể sinh học – hóa lý được nghiên cứu nhằm phá vỡ cấu trúc lignocellulose. Mục tiêu không chỉ là “làm mềm” nguyên liệu, mà là thay đổi cấu trúc thành tế bào theo hướng tăng độ xốp, giảm kết tinh tương đối của cellulose hoặc loại bớt hemicellulose/lignin cản trở enzyme [5].

Tuy nhiên, tiền xử lý quá mạnh có thể tạo chất ức chế lên men, làm suy giảm hoạt động của vi sinh vật hoặc tăng yêu cầu xử lý dòng dịch. Vì vậy, quy trình tốt cần cân bằng giữa tăng khả năng thủy phân và hạn chế hình thành chất gây độc cho bước lên men. Đây là lý do hiệu suất ethanol không thể được suy ra chỉ từ tên enzyme, mà phải gắn với toàn bộ chuỗi công nghệ [3].

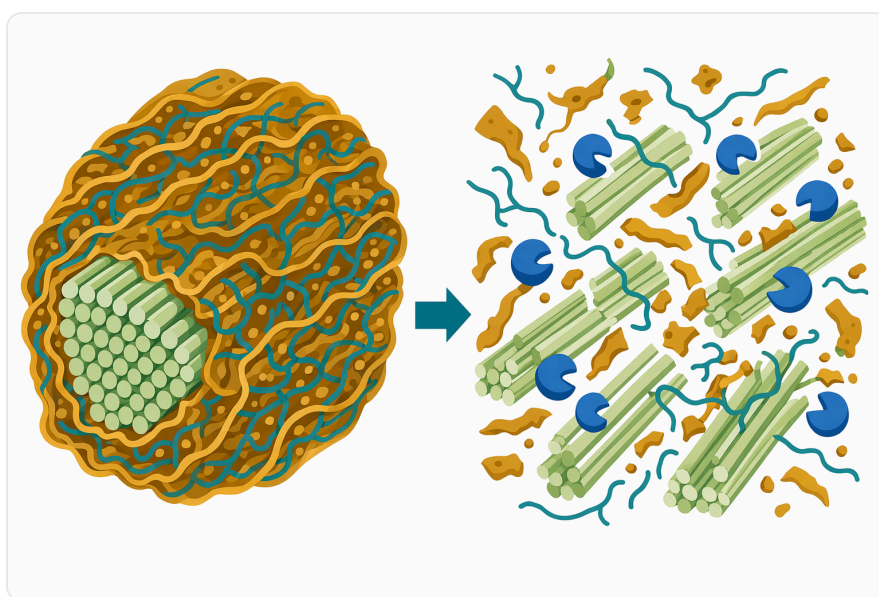


Figure 4. 전처리는 리그노셀룰로오스 매트릭스를 열어 더 많은 셀룰로오스 표면을 셀룰라아제에 노출시킴으로써 당화를 향상시킨다.

Phối hợp cellulase với xylanase và enzyme hỗ trợ

Trong sinh khối thực vật, cellulose hiếm khi tồn tại ở dạng tinh khiết. Hemicellulose, đặc biệt là xylan trong nhiều phụ phẩm nông nghiệp, nằm xen giữa cellulose và lignin. Nếu hemicellulose không được xử lý, lớp polymer này có thể hạn chế đường đi của cellulase đến bề mặt cellulose. Xylanase giúp cắt xylan, qua đó mở cấu trúc thành tế bào và tạo hiệu ứng hiệp đồng với cellulase [9].

Hiệp đồng cellulase–xylanase không chỉ làm tăng đường C6 từ cellulose, mà còn có thể giải phóng đường C5 từ hemicellulose. Điều này mở rộng nguồn carbon cho lên men, nhưng cũng đặt ra yêu cầu về chủng vi sinh vật: *Saccharomyces cerevisiae* thông thường lên men glucose tốt, trong khi việc sử dụng

xylose hoặc các pentose khác thường cần chúng được chọn lọc, cải biến hoặc hệ lên men khác phù hợp hơn [15].

β -glucosidase cũng là enzyme hỗ trợ rất quan trọng trong cocktail cellulase. Khi cellobiose được chuyển nhanh thành glucose, ức chế ngược lên endoglucanase và cellobiohydrolase có thể giảm, làm dòng thủy phân thông suốt hơn. Các nghiên cứu về β -glucosidase dung nạp glucose cho thấy việc cải thiện mắt xích này là một hướng đáng chú ý trong thiết kế enzyme cho thủy phân sinh khối [8].

Bằng chứng nghiên cứu về cellulase trong sản xuất bioethanol

Các tổng quan về cellulase từ nấm và vi khuẩn thống nhất rằng cellulase là nhóm enzyme cốt lõi trong công nghiệp chuyển hóa cellulose, bao gồm bioethanol, thức ăn chăn nuôi, dệt may, giấy và các ứng dụng xử lý phụ phẩm. Trong lĩnh vực ethanol sinh học, vai trò của cellulase tập trung vào bước đường hóa: tạo đường lên men từ nguyên liệu cellulose khó tan [2].

Tổng quan về sản xuất cellulase từ nấm và vi khuẩn trên phụ phẩm nông nghiệp cũng nhấn mạnh hai khía cạnh liên quan trực tiếp đến bioethanol: nguồn enzyme có thể đa dạng, và phụ phẩm nông nghiệp vừa là cơ chất sản xuất enzyme vừa là nguyên liệu cần được thủy phân. Điều này phù hợp với logic kinh tế tuần hoàn của ethanol thế hệ hai, nơi phụ phẩm được chuyển thành nhiên liệu hoặc hóa chất sinh học [16].



Figure 5. 일반적인 전처리 경로는 셀룰라아제가 셀룰로오스에 접근하기 쉽게 만드는 방식과 그 과정에서 발생하는 공정상의 절충점이 서로 다르다.

Nghiên cứu về phụ phẩm nông nghiệp và thủy phân enzyme cho thấy khi cellulose được chuyển thành đường, các vi sinh vật như *Saccharomyces cerevisiae* hoặc *Zymomonas mobilis* có thể tham gia bước lên men ethanol. Sự khác biệt giữa các chủng lên men, loại nguyên liệu và điều kiện xử lý giải thích vì sao cùng dùng cellulase nhưng kết quả thực nghiệm có thể khác nhau đáng kể [10].

Ở quy mô cơ chế, các nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng về cellulase như enzyme bioethanol giúp làm rõ tương tác giữa enzyme và cellulose, bao gồm cách enzyme bám, cắt và di chuyển trên bề mặt cơ chất. Những hiểu biết này hỗ trợ việc giải thích vì sao cellulose kết tinh, lignin và các sản phẩm trung gian có thể làm chậm thủy phân [6].

Những yếu tố vận hành ảnh hưởng đến hiệu quả của cellulase

Yếu tố đầu tiên là mức độ tiền xử lý và diện tích tiếp xúc của cellulose. Sinh khối được nghiền, làm xốp hoặc khử một phần lignin thường cho enzyme nhiều điểm bám hơn so với vật liệu thô. Nhưng xử lý quá mức có thể tạo hợp chất ức chế lên men, nên hiệu quả thực tế phải đánh giá trên cả đường giải phóng lẫn khả năng lên men của dịch thủy phân [5].

Yếu tố thứ hai là thành phần enzyme. Nếu hệ cellulase thiếu β -glucosidase, cellobiose có thể tích lũy; nếu thiếu xylanase trong nguyên liệu giàu hemicellulose, lớp xylan có thể cản trở cellulase; nếu thiếu enzyme phụ trợ phù hợp, phần cellulose trong cấu trúc phức tạp có thể không được khai thác hết. Vì vậy, khái niệm “cocktail enzyme” quan trọng hơn việc nhìn cellulase như một hoạt tính đơn lẻ [9].

Yếu tố thứ ba là chủng vi sinh vật lên men. Glucose từ cellulose thường được nấm men công nghiệp sử dụng tốt, nhưng dịch thủy phân lignocellulose có thể chứa hỗn hợp đường C6 và C5, cùng các chất ức chế phát sinh từ tiền xử lý. Những nghiên cứu về transporter đường trong nấm cho thấy khả năng thu nhận và chuyển hóa đường là nút quan trọng để nâng cao hiệu quả ethanol thế hệ hai [15].

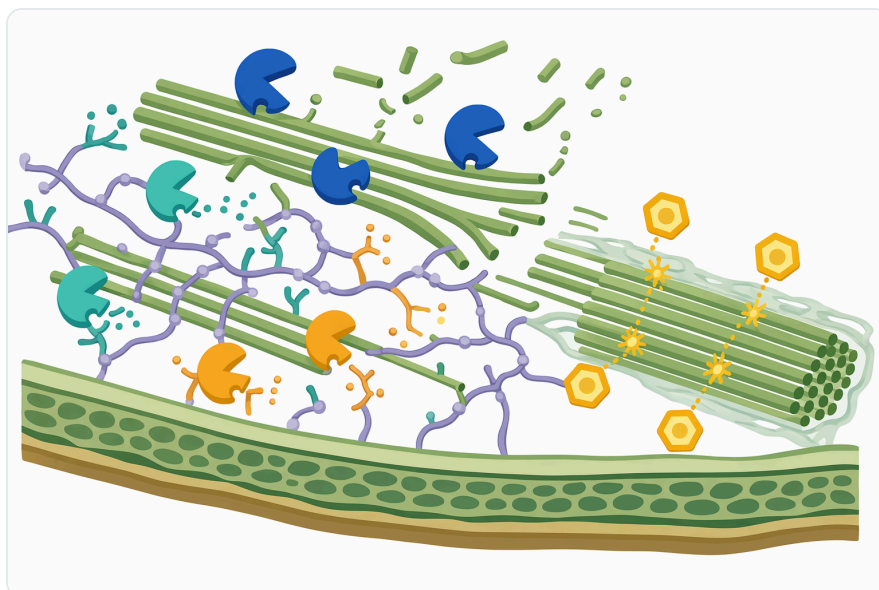


Figure 6. 보조 효소는 헤미셀룰로오스 네트워크를 느슨하게 하고 분해가 어려운 셀룰로오스 영역을 극복하도록 도와 셀룰라아제의 효과를 높일 수 있다.

Yếu tố thứ tư là cấu hình quy trình. Thủy phân riêng, đường hóa – lên men đồng thời, hoặc các mô hình tích hợp hơn đều có ưu và nhược điểm. Không có một cấu hình tối ưu cho mọi nguyên liệu; lựa chọn phụ thuộc vào mục tiêu vận hành, loại sinh khối, khả năng kiểm soát nhiễm, dung nạp ethanol của vi sinh vật và yêu cầu xử lý dòng sau lên men [3].

Lợi ích kỹ thuật khi dùng cellulase cho bioethanol

Lợi ích trực tiếp nhất là chuyển cellulose — nguồn carbon dồi dào nhưng không lên men trực tiếp — thành glucose hoặc đường hòa tan. Đây là bước bắt buộc nếu muốn khai thác rơm rạ, thân cây ngô, bã mía, cardboard hoặc phụ phẩm giàu xơ làm nguyên liệu ethanol thay vì chỉ dùng đường/tinh bột để chuyển hóa [1].

Lợi ích thứ hai là tính chọn lọc sinh học. Cellulase cắt liên kết glycosidic trong cellulose trong điều kiện quy trình tương thích hơn với hệ sinh học so với nhiều phương pháp hóa học khắc nghiệt. Điều này giúp tích hợp enzyme với lên men và giảm nhu cầu trung hòa hoặc xử lý hóa chất mạnh trong một số thiết kế quy trình [11].

Lợi ích thứ ba là khả năng phối hợp linh hoạt. Cellulase có thể được dùng với xylanase, β -glucosidase tăng cường, hemicellulase hoặc các enzyme phụ trợ khác để phù hợp với từng loại sinh khối. Cách tiếp cận đa enzyme phản ánh đúng bản chất của lignocellulose: một ma trận polymer phức tạp chứ không phải cellulose tinh khiết [9].

Lợi ích thứ tư là phù hợp với mô hình biorefinery. Đường tạo ra từ cellulose không chỉ có thể lên men thành ethanol mà còn có thể là nền carbon cho các sản phẩm sinh học khác, tùy hệ vi sinh và thiết kế quy trình. Vì vậy, cellulase là enzyme nền trong nhiều chiến lược nâng giá trị phụ phẩm lignocellulose [16].

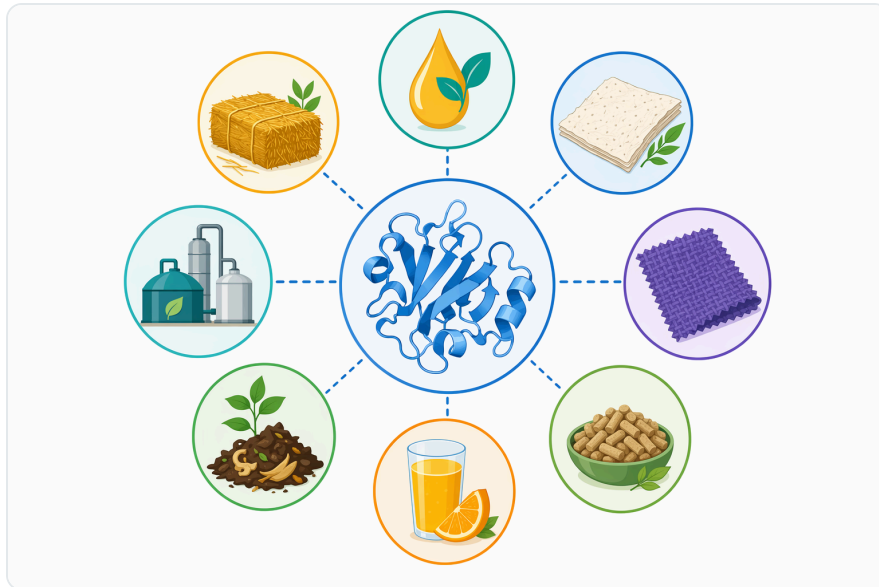


Figure 7. 셀룰라아제가 지원하는 당화는 짚, 풀, 농작물 부산물, 침입성 바이오매스, 과일 또는 채소 착즙박과 같은 잔류물에 적용될 수 있다.

Giới hạn cần hiểu đúng để tránh kỳ vọng sai

Cellulase không phải “enzyme tạo ethanol”. Nó chỉ thực hiện thủy phân cellulose thành đường; ethanol là sản phẩm của bước lên men do vi sinh vật đảm nhiệm. Nếu dịch đường không được lên men bởi chủng phù hợp, hoặc nếu vi sinh vật bị ức chế bởi hợp chất phát sinh từ tiền xử lý, việc bổ sung cellulase không tự động dẫn đến hiệu suất ethanol cao [10].

Cellulase cũng không loại bỏ hoàn toàn nhu cầu tiền xử lý. Với sinh khối giàu lignin hoặc có cấu trúc chặt, enzyme có thể bị hạn chế tiếp cận cơ chất hoặc bị hấp phụ không hữu ích lên lignin. Các nghiên cứu về biến đổi lignin cho thấy cấu trúc và tính chất lignin có ảnh hưởng trực tiếp đến thủy phân enzyme trong định hướng sản xuất bioethanol [4].

Ngoài ra, mỗi nguyên liệu có thành phần khác nhau. Rơm rạ, corn stover, bã mía, cardboard và phụ phẩm giấy có tỷ lệ cellulose, hemicellulose, lignin, tro, phụ gia và chất ức chế khác nhau. Do đó, kết quả trên một nguyên liệu hoặc một nghiên cứu không nên được diễn giải như cam kết hiệu suất cho mọi điều kiện công nghiệp [13].

Thông tin cung ứng từ Enzymes.bio

Enzymes.bio cung cấp **Cellulase Enzyme for Bioethanol Production CAS 9012-54-8** như một sản phẩm enzyme thương mại phục vụ ứng dụng thủy phân cellulose trong bối cảnh sản xuất ethanol sinh học và xử lý sinh khối. Enzymes.bio là nhà cung cấp, không phải nhà sản xuất enzyme và không trình bày sản phẩm như kết quả của một dịch vụ phòng thí nghiệm nội bộ.

Sản phẩm được bán trực tiếp online theo đơn vị 1 kg. Khi đặt hàng, CoA và SDS được cung cấp kèm theo, giúp người dùng có tài liệu đi kèm để lưu hồ sơ chất lượng và an toàn trong quá trình tiếp nhận, bảo quản và sử dụng enzyme theo quy trình nội bộ.

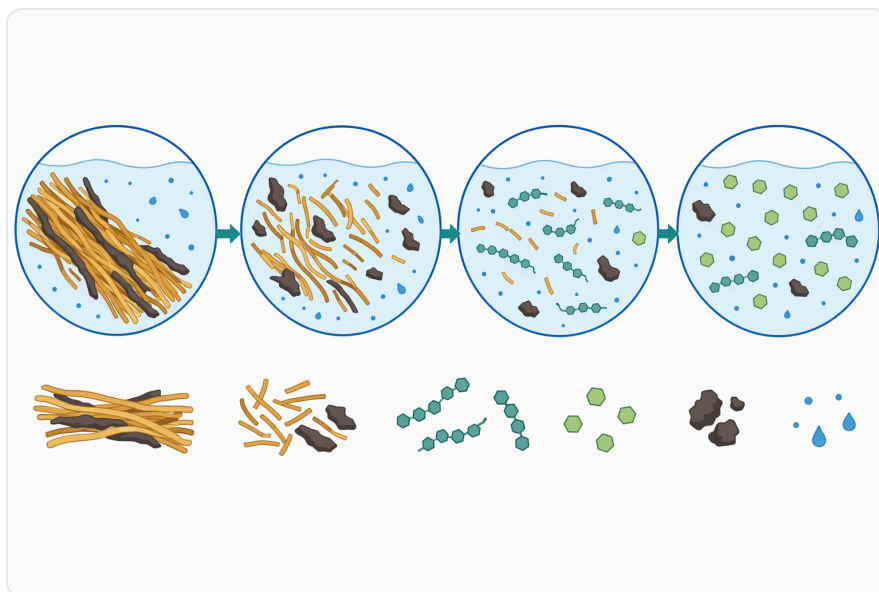


Figure 8. 셀룰라아제 가수분해 동안 탄수화물은 불용성 섬유에서 액상 내의 가용성 올리고당, 셀로비오스, 포도당으로 이동한다.

Trong sử dụng thực tế, người vận hành nên xem cellulase là một thành phần của hệ thống công nghệ gồm nguyên liệu, tiền xử lý, enzyme bổ trợ, điều kiện thủy phân, chủng lên men và xử lý sau lên men. Cách tiếp cận hệ thống này phù hợp với bằng chứng nghiên cứu hiện nay: hiệu quả bioethanol từ lignocellulose là kết quả của nhiều mắt xích được tối ưu đồng thời, không phải chỉ của riêng enzyme ^[3].

Kết luận

Cellulase Enzyme for Bioethanol Production CAS 9012-54-8 là enzyme thủy phân cellulose quan trọng cho sản xuất ethanol sinh học từ sinh khối lignocellulose. Về cơ chế, cellulase chuyển cellulose khó tan thành glucose thông qua sự phối hợp của endoglucanase, exoglucanase/cellobiohydrolase và β -glucosidase; glucose sau đó được vi sinh vật lên men thành ethanol ^[1].

Giá trị kỹ thuật của cellulase nằm ở khả năng khai thác phụ phẩm giàu xơ như rơm rạ, corn stover, bã mía, cardboard và phụ phẩm giấy. Tuy nhiên, hiệu quả thực tế phụ thuộc vào tiền xử lý, lignin, hemicellulose, enzyme bổ trợ như xylanase, chủng lên men và cấu hình quy trình [5].

Đối với doanh nghiệp hoặc nhóm kỹ thuật đang phát triển quy trình ethanol thế hệ hai, cellulase nên được đánh giá như một phần của chuỗi chuyển hóa sinh khối hoàn chỉnh. Enzymes.bio cung cấp sản phẩm theo đơn vị 1 kg qua kênh online, kèm CoA và SDS khi đặt hàng, phù hợp cho nhu cầu sử dụng enzyme thương mại trong các quy trình đã có đánh giá kỹ thuật nội bộ.

Đặt mua Cellulase Enzyme For Bioethanol Production Cas 9012-54-8 trực tuyến

Bán theo đơn vị 1 kg, có sẵn trong kho và sẵn sàng giao hàng. Đặt mua trực tiếp trên cửa hàng của chúng tôi — thanh toán trực tuyến và chúng tôi sẽ xử lý đơn hàng. Mỗi đơn hàng đều kèm Chứng nhận Phân tích và Bảng Dữ liệu An toàn.

[Mua Cellulase Enzyme For Bioethanol Production Cas 9012-54-8 →](#)

Tài liệu tham khảo

Được đánh số theo thứ tự trích dẫn đầu tiên. Các nguồn truy cập mở, đều được xác minh có thể truy cập tại thời điểm xuất bản; số trích dẫn trong bài liên kết đến đây.

1. Ilić, N., Milić, M., Beluhan, S., & Dimitrijević-Branković, S. (2023). Cellulases: From Lignocellulosic Biomass to Improved Production. *Energies*.
2. Singh, A., Bajar, S., Devi, A., & Pant, D. (2021). An overview on the recent developments in fungal cellulase production and their industrial applications. *Bioresource Technology Reports*, 14, 100652.
3. Elsagan, Z. A., Ali, R. M., El-Naggar, M. A., El-Ashtoukhy, E. Z., & Abdelhafez, S. (2023). New perspectives for maximizing sustainable bioethanol production from corn stover. *Renewable Energy*.
4. Hou, J., Zhang, Q., Tian, F., Liu, F., Jiang, J., Qin, J., Wang, H., ... et al. (2024). Structure changes of lignin and their effects on enzymatic hydrolysis for bioethanol production: a focus on lignin modification. *Journal of Biotechnology*.
5. Pendse, D. S., Deshmukh, M., & Pande, A. (2023). Different pre-treatments and kinetic models for bioethanol production from lignocellulosic biomass: A review. *Heliyon*, 9.
6. Ranganathan, S., Mahesh, S., Suresh, S., Nagarajan, A., Sen, T. Z., & Yenamalli, R. M. (2022). Experimental and computational studies of cellulases as bioethanol enzymes. *Bioengineered*, 13, 14028 - 14046.
7. Penneru, S. K., Saharay, M., & Krishnan, M. (2022). CeLS-Catalyzed Processive Cellulose Degradation and Cellobiose Extraction for the Production of Bioethanol. *Journal of Chemical Information and Modeling*.

8. Huang, Y., Zhu, D., Yang, L., Ortúzar, M., Yang, Z., Lv, Z., Xie, K., ... et al. (2025). Characterization, thermostable mechanism, and molecular docking of a novel glucose-tolerant β -glucosidase/ β -galactosidase from the GH1 family isolated from Rehai hot spring. *Frontiers in Microbiology*, 16.
9. Bajaj, P., & Mahajan, R. (2019). Cellulase and xylanase synergism in industrial biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 8711 - 8724.
10. Hemalatha, R., Saravanamurugan, C., Meenatchisundaram, S., & Rajendran, S. (2015). Comparative Study of Bioethanol Production from Agricultural Waste Materials Using *Saccharomyces cerevisiae* (MTCC 173) and *Zymomonas mobilis* (MTCC 2427) by Enzymatic Hydrolysis Process.
11. Cherian, E., Dharmendirakumar, M., & Baskar, G. (2015). Immobilization of cellulase onto MnO₂ nanoparticles for bioethanol production by enhanced hydrolysis of agricultural waste. *Chinese Journal of Catalysis*, 36, 1223-1229.
12. Bajaj, B., Sharma, M., & Rao, R. S. (2014). Agricultural residues for production of cellulase from *Sporotrichum thermophile* LAR5 and its application for saccharification of rice straw.
13. Kallel, F., Chaabouni, S. E., & Neifar, M. (2025). Simultaneous production of cellulase and xylanase by *Penicillium occitanis* Pol6 and potential application in bioethanol production using cardboard waste as a sustainable substrate. *Chemické zvesti*, 79, 4795 - 4805.
14. Saharan, V., Tushir, S., Singh, J., Kumar, N., Chhabra, D., & Kapoor, R. (2023). Application of MOGA-ANN tool for the production of cellulase and xylanase using de-oiled rice bran (DORB) for bioethanol production. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14, 11987 - 11999.
15. Pereira, L. M. S., Taveira, I. C., Maués, D. B., Paula, R. G., & Silva, R. N. (2025). Advances in fungal sugar transporters: unlocking the potential of second-generation bioethanol production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 109.
16. Imran, M., Anwar, Z., Irshad, M., Asad, M., & Ashfaq, H. (2016). Cellulase Production from Species of Fungi and Bacteria from Agricultural Wastes and Its Utilization in Industry: A Review. *Advances in Enzyme Research*, 04, 44-55.

Liên hệ Enzymes.bio

Có câu hỏi về đơn hàng? Đội ngũ của chúng tôi luôn sẵn sàng hỗ trợ.


EMAIL wholesale@enzymes.bio

ĐIỆN THOẠI (HOA KỲ) **+1 (507) 428-6057**

[Liên hệ với chúng tôi →](#)

 **400+** khách hàng B2B

 **60+** đối tác nghiên cứu đại học

 **54** phục vụ trên toàn cầu

© 2026 Enzymes.bio · Cung ứng enzyme công nghiệp & chế biến thực phẩm · Không dùng cho người tiêu thụ hoặc bán lẻ.