

Cellulase Enzyme cho ngành giấy và bột giấy: ứng dụng cải thiện xơ sợi, thoát nước và khử mực

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

Cellulase Enzyme cho ngành giấy và bột giấy là nhóm enzyme thủy phân cellulose được dùng chủ yếu để tác động có kiểm soát lên bề mặt xơ sợi, hỗ trợ thoát nước, tinh luyện bột, khử mực giấy tái chế và xử lý một số dòng bột giàu cellulose. Điểm quan trọng là cellulase không được dùng để “phá hủy” cellulose hàng loạt, mà để điều chỉnh vùng cellulose để tiếp cận nhằm tạo thay đổi công nghệ vừa đủ trong quy trình giấy ^[1].

Enzymes.bio cung cấp sản phẩm **Cellulase Enzyme For Paper And Pulp Industry** với vai trò **nhà cung cấp**, không phải nhà sản xuất hay phòng thí nghiệm. Sản phẩm được bán trực tiếp online theo đơn vị **1 kg**; **CoA** và **SDS** được cung cấp kèm theo khi đặt hàng.

Cellulase trong giấy và bột giấy là gì?

Cellulase là tên gọi chung cho một hệ enzyme có khả năng xúc tác thủy phân cellulose — polymer cấu trúc chính tạo nên xơ sợi thực vật và phần khung cơ học của giấy. Trong bối cảnh công nghiệp giấy, cellulase được quan tâm vì nó có thể tác động chọn lọc lên các vùng cellulose dễ tiếp cận trên bề mặt xơ sợi, khác với các hóa chất phản ứng rộng có thể ảnh hưởng đồng thời đến nhiều thành phần của bột giấy ^[1].

Về mặt sinh hóa, cellulose gồm các chuỗi glucose liên kết với nhau qua liên kết β -1,4-glycosidic và sắp xếp thành vùng tinh thể xen kẽ vùng vô định hình. Vùng vô định hình, đầu mạch, fibril bề mặt và các phần xơ sợi bị tổn thương trong nghiền hoặc tái chế thường dễ bị enzyme tiếp cận hơn so với vùng cellulose tinh thể chặt chẽ, vì vậy hiệu ứng cellulase trong giấy thường bắt đầu từ bề mặt thay vì toàn bộ lõi sợi ^[2].

Trong một chế phẩm cellulase công nghiệp, hoạt tính có thể bao gồm nhiều thành phần bổ trợ: endoglucanase cắt ngẫu nhiên trong vùng cellulose dễ tiếp cận, cellobiohydrolase tác động từ đầu mạch để giải phóng đoạn ngắn hơn, và β -glucosidase chuyển cellobiose hoặc oligosaccharide thành

glucose trong các hệ thủy phân hoàn chỉnh. Các nghiên cứu về tối ưu hóa thủy phân cellulose nhấn mạnh tính hiệp đồng giữa các thành phần enzyme, vì một enzyme tạo thêm điểm tấn công cho enzyme khác trong mạng cellulose không tan ^[3].

Tuy nhiên, mục tiêu trong ngành giấy khác với mục tiêu sản xuất đường lên men từ sinh khối. Với giấy và bột giấy, cellulose là vật liệu tạo độ bền, độ liên kết và cấu trúc tờ giấy; do đó cellulase thường được sử dụng như công cụ **biến tính bề mặt xơ sợi** hoặc hỗ trợ quy trình, không phải để chuyển hóa tối đa cellulose thành glucose ^[1].

Vì sao cellulase phù hợp với ứng dụng giấy và bột giấy?

Xơ sợi giấy không phải là vật liệu đồng nhất. Trên cùng một sợi có thể tồn tại vùng cellulose tinh thể, vùng cellulose vô định hình, hemicellulose, lignin còn lại, fines, fibril, chất độn, tinh bột, nhựa, mực in, lớp phủ và các phụ gia từ chu trình tái chế; chính sự không đồng nhất này tạo điều kiện cho enzyme tác động cục bộ vào những vị trí dễ tiếp cận nhất ^[2].

Khi dùng đúng cách, cellulase có thể làm thay đổi trạng thái bề mặt của sợi: cắt một phần fibril nhỏ, làm giảm một số thành phần giữ nước quá mức, làm lỏng liên kết giữa mực và bề mặt sợi, hoặc hỗ trợ quá trình tinh luyện bằng cách làm sợi dễ đáp ứng hơn với tác động cơ học. Tổng quan về cellulase trong ngành giấy ghi nhận các hướng ứng dụng như cải thiện thoát nước, hỗ trợ khử mực, xử lý bột tái chế và biến tính tính chất xơ sợi ^[1].

Điểm đáng chú ý là cellulase hoạt động trong pha nước và trên cơ chất không tan. Đây là đặc điểm rất phù hợp với huyền phù bột giấy, nơi cellulose tồn tại dưới dạng xơ sợi phân tán trong nước, còn quá trình công nghệ phụ thuộc mạnh vào diện tích bề mặt, khả năng giữ nước, độ phân tán và tương tác giữa sợi – hạt mịn – phụ gia ^[4].

Cơ chế tác động: cellulase thay đổi xơ sợi như thế nào?

Tác động lên vùng cellulose dễ tiếp cận

Cellulase không tiếp cận mọi phần cellulose với tốc độ như nhau. Vùng cellulose có độ kết tinh cao thường khó bị thủy phân hơn, trong khi cellulose vô định hình, đầu mạch, bề mặt bị mài mòn và sợi đã qua tái chế thường có nhiều điểm enzyme có thể bám và cắt hơn; điều này giải thích vì sao cùng một loại enzyme có thể cho hiệu ứng khác nhau trên bột kraft, bột cơ học, bột tái chế hoặc bột có hàm lượng fines cao ^[2].

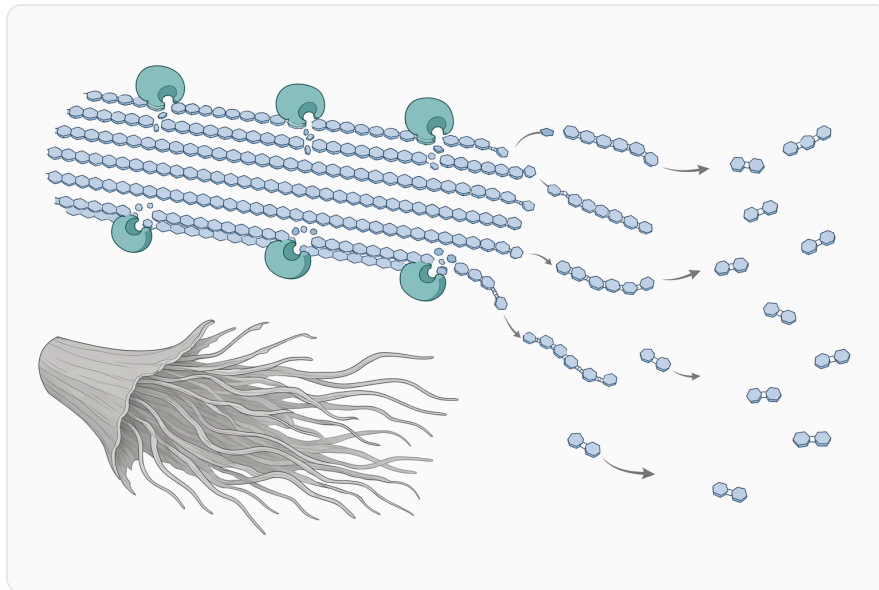


Figure 1. 셀룰레이스는 섬유벽 전체를 균일하게 분해하기보다는 접근 가능한 셀룰로오스 표면, 피브릴, 미세섬유, 비정질 영역에 먼저 작용한다.

Trong giai đoạn đầu, endoglucanase có thể cắt các đoạn cellulose dễ tiếp cận, tạo thêm đầu mạch và làm thay đổi độ linh động của fibril bề mặt. Nếu quá trình tiếp diễn sâu hơn, các thành phần khác trong hệ cellulase có thể tiếp tục rút ngắn chuỗi cellulose; vì vậy kiểm soát mức xử lý là yếu tố then chốt để thu được hiệu ứng công nghệ mà không làm suy giảm quá mức nền sợi [3].

Tác động đến giữ nước, fines và khả năng thoát nước

Một vấn đề phổ biến trong hệ bột giấy, đặc biệt bột tái chế, là hàm lượng fines và vật liệu keo phân tán có thể làm tăng giữ nước, giảm freeness và làm chậm thoát nước trên máy giấy. Cellulase có thể hỗ trợ bằng cách cắt hoặc làm biến đổi một phần vật liệu cellulose mịn trên bề mặt, giúp nước thoát qua mạng sợi thuận lợi hơn trong những điều kiện phù hợp [1].

Cơ chế này không nên hiểu là “enzyme làm khô bột” theo nghĩa trực tiếp. Thực tế, enzyme làm thay đổi cấu trúc vi mô của xơ sợi và hạt mịn; kết quả thoát nước phụ thuộc vào loại bột, độ nghiền, phân bố kích thước sợi, lượng chất độn, chất giữ lại, chất keo, pH, nhiệt độ, thời gian lưu và điểm bổ sung enzyme trong dây chuyền [4].

Tác động đến liên kết mực – sợi trong giấy tái chế

Trong khử mực giấy tái chế, mực và các thành phần in/phủ có thể bám lên bề mặt cellulose hoặc bị giữ trong mạng sợi sau đánh tơi. Cellulase có thể hỗ trợ làm lỏng lớp bề mặt cellulose, giải phóng hạt mực hoặc giảm lực giữ giữa mực, fines và sợi; vì vậy enzyme thường được xem là công cụ hỗ trợ cho tẩy rửa, rửa hoặc các bước tách mực tiếp theo [1].

Cần phân biệt rõ: cellulase không phải chất tẩy màu và cũng không “hòa tan” mọi loại mực. Hiệu quả khử mực phụ thuộc vào loại giấy thu hồi, công nghệ in, chất phủ, phụ gia, lịch sử tái chế của sợi và sự phối hợp với xử lý cơ học – hóa học trong quy trình ^[5].

Các ứng dụng chính của Cellulase Enzyme trong ngành giấy và bột giấy

Hỗ trợ tinh luyện và biến tính xơ sợi

Tinh luyện là công đoạn tiêu tốn năng lượng và ảnh hưởng mạnh đến độ bền, độ thoát nước, độ mịn và khả năng tạo tờ. Cellulase có thể được dùng trước hoặc trong chuỗi xử lý bột để làm biến đổi bề mặt sợi, giúp một số loại bột đáp ứng tốt hơn với tác động cơ học và giảm mức xử lý cơ học cần thiết trong điều kiện thích hợp ^[1].

Về cơ chế, tác động enzyme làm yếu cục bộ hoặc cắt bớt các vùng cellulose vô định hình trên bề mặt, tạo thay đổi trong độ linh động, độ xơ hóa và khả năng tương tác giữa các sợi. Nếu xử lý ở mức vừa phải, điều này có thể hỗ trợ phát triển tính chất mong muốn; nếu xử lý quá mạnh, chiều dài hiệu dụng của sợi hoặc khả năng tạo liên kết bền có thể bị ảnh hưởng bất lợi ^[2].

Cải thiện thoát nước và freeness

Khả năng thoát nước ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ vận hành máy giấy, tải sấy và tính ổn định của hệ thống nước trắng. Trong các hệ bột chứa nhiều fines hoặc sợi tái chế đã bị nghiền, cellulase có thể hỗ trợ cải thiện freeness bằng cách biến đổi các phần cellulose mịn có xu hướng giữ nước cao ^[1].

Nghiên cứu về thủy phân cellulose từ xơ sợi giấy thải cho thấy bề mặt và trạng thái phân tán của xơ sợi giấy thải có vai trò lớn đối với khả năng enzyme tiếp cận cơ chất. Dù mục tiêu nghiên cứu đó là thủy phân, kết luận về tầm quan trọng của khả năng tiếp cận bề mặt cũng phù hợp khi giải thích vì sao bột tái chế thường phản ứng nhạy với xử lý cellulase ^[4].

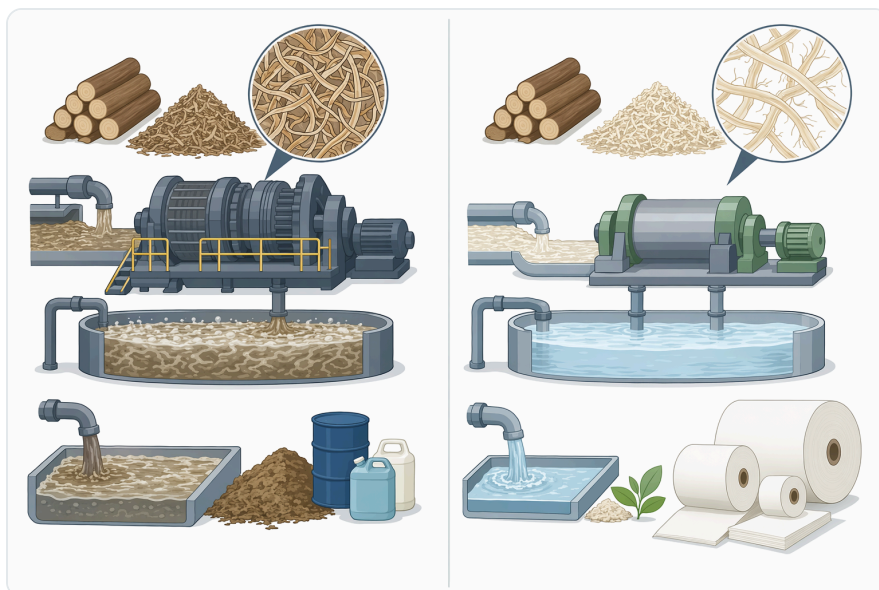


Figure 2. 제지 산업에서 셀룰레이스의 활용은 가벼운 섬유 표면 개질부터 당 방출을 위한 강도 높은 가수분해까지 다양하며, 공정 목표와 위험 수준도 각각 다르다.

Hỗ trợ khử mực giấy tái chế

Khử mực bằng enzyme là một hướng ứng dụng đáng chú ý vì nó nhắm vào giao diện giữa mực, lớp phủ, tinh bột, fines và bề mặt cellulose thay vì chỉ dựa vào hóa chất kiềm hoặc chất hoạt động bề mặt. Cellulase có thể góp phần giải phóng hạt mực khỏi bề mặt sợi, sau đó các hạt này được loại qua tuyến nổi, rửa hoặc các bước tách cơ học trong quy trình [1].

Một điểm cần thận trọng là hiệu quả khử mực không chỉ do cellulase quyết định. Giấy in văn phòng, báo cũ, tạp chí phủ, giấy bao bì in và giấy có lớp phủ polymer có cấu trúc bề mặt rất khác nhau; nghiên cứu về xử lý enzyme trên giấy cellulose và giấy chứa lignin cho thấy phản ứng của vật liệu giấy với enzyme phụ thuộc đáng kể vào thành phần giấy và đặc điểm chế tạo [5].

Xử lý bột tái chế và dòng thải giàu cellulose

Ngoài bột giấy chính, nhiều nhà máy còn có dòng phụ giàu cellulose như bùn giấy, fines thu hồi hoặc vật liệu cellulosic từ quá trình tái chế. Nghiên cứu gần đây đã xem xét chuyển hóa bùn nhà máy giấy thành cellulose vi sợi hoặc nano bằng thủy phân enzyme kết hợp xử lý cơ học, cho thấy enzyme có thể đóng vai trò trong các hướng tận dụng phụ phẩm giàu cellulose [6].

Dù vậy, ứng dụng xử lý dòng thải không đồng nghĩa với việc mọi bùn giấy đều phù hợp cho cùng một quy trình enzyme. Thành phần tro, chất độn, mực, polymer, chất keo và tạp chất vô cơ có thể thay đổi lớn giữa các nhà máy, ảnh hưởng đến mức enzyme tiếp cận cellulose và hiệu quả biến đổi vật liệu [6].

Hỗ trợ sản xuất vật liệu cellulose vi mô và nano

Cellulase cũng được nghiên cứu trong sản xuất cellulose vi sợi, nanofibrillated cellulose và nanocellulose, thường nhằm giảm cường độ xử lý cơ học hoặc thay đổi cấu trúc sợi trước khi phân rã. Các tổng quan về cellulose nanofiber và vật liệu nanocellulose ghi nhận thủy phân enzyme là một trong các chiến lược tiền xử lý hoặc hỗ trợ sản xuất vật liệu cellulose kích thước nhỏ [7].

Trong các nghiên cứu về nanocellulose từ sinh khối lignocellulose, enzyme giúp tấn công vùng cellulose dễ tiếp cận và hỗ trợ tách fibril, nhưng kết quả vật liệu phụ thuộc vào nguồn nguyên liệu, mức loại lignin/hemicellulose, tiền xử lý và cường độ cơ học sau đó. Điều này cho thấy cùng là “cellulase”, mục tiêu trong nanocellulose có thể khác đáng kể so với mục tiêu trên máy giấy thông thường [8].

Bảng so sánh: cellulase trong các mục tiêu công nghệ giấy

Mục tiêu ứng dụng	Cơ chế chính của cellulase	Lợi ích có thể kỳ vọng	Điểm cần kiểm soát
Biến tính xơ sợi	Cắt vùng cellulose vô định hình và fibril bề mặt	Hỗ trợ tinh luyện, điều chỉnh độ phát triển sợi	Tránh xử lý quá sâu gây giảm độ bền
Cải thiện thoát nước	Làm biến đổi fines và vật liệu cellulose giữ nước	Tăng freeness, giảm cản trở thoát nước trong một số hệ bột	Phụ thuộc mạnh vào fines, chất độn và hóa chất ướt
Khử mực giấy tái chế	Làm lỏng giao diện mực – bề mặt sợi	Hỗ trợ giải phóng hạt mực cho tuyển nổi/rửa	Hiệu quả thay đổi theo loại mực, giấy phủ và công nghệ in
Xử lý dòng phụ cellulose	Thủy phân hoặc làm suy yếu cấu trúc cellulose phụ phẩm	Hỗ trợ tận dụng bùn giấy/fines giàu cellulose	Tạp chất vô cơ, mực và polymer có thể cản trở
Sản xuất cellulose vi mô/nano	Tiền xử lý enzyme trước phân rã cơ học	Giảm cường độ cơ học hoặc điều chỉnh kích thước fibril	Không phải mục tiêu trực tiếp của mọi dây chuyền giấy

Các ứng dụng trên có cùng nền tảng là khả năng cellulase tác động lên cellulose, nhưng mục tiêu công nghệ rất khác nhau: với bột giấy sản xuất tờ, mức tác động thường cần nhẹ và có kiểm soát; với thủy phân sinh khối hoặc tạo vật liệu vi/nano, mức biến đổi cellulose có thể sâu hơn nhiều [1].

Yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả cellulase trong nhà máy giấy

Loại bột và lịch sử xử lý của xơ sợi

Bột hóa học, bột cơ học, bột tái chế, OCC, giấy văn phòng thu hồi và giấy phủ đều khác nhau về hàm lượng cellulose, hemicellulose, lignin, độ tổn thương sợi và hàm lượng phụ gia. Nghiên cứu so sánh ảnh hưởng của khối lượng mol trung bình, độ kết tinh và hàm lượng hemicellulose cho thấy các đặc tính cấu trúc của cellulose quyết định đáng kể khả năng thủy phân enzyme [2].

Sợi tái chế thường đã trải qua nhiều chu kỳ sấy, nghiền, in, phủ và xử lý hóa chất. Những thay đổi này có thể làm sợi giòn hơn, tạo fines nhiều hơn hoặc thay đổi khả năng trương nở; vì vậy phản ứng với cellulase có thể khác đáng kể so với bột nguyên sinh cùng nguồn thực vật [4].

Khả năng tiếp cận cơ chất

Cellulase chỉ có thể tác động khi tiếp xúc được với vùng cellulose phù hợp. Lignin, hemicellulose, chất phủ, chất độn vô cơ, mực, nhựa, polymer hoặc cấu trúc sợi quá chặt có thể hạn chế khả năng enzyme bám vào cellulose; đây là lý do nhiều nghiên cứu thủy phân cellulose nhấn mạnh vai trò của tiền xử lý và trạng thái bề mặt cơ chất [9].

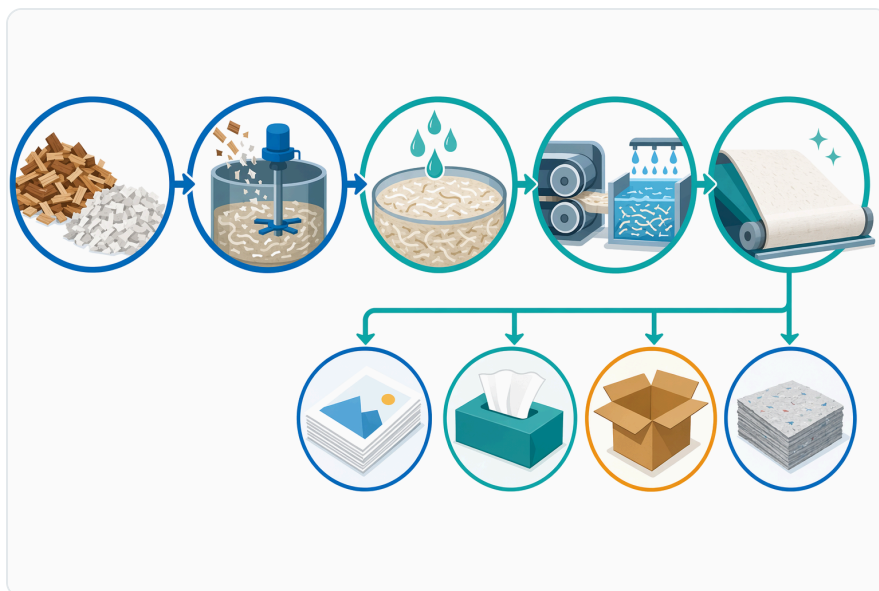


Figure 3. 재생지 탈목 공정에서 셀룰레이스는 세척이나 부유선별로 방출된 입자를 제거하기 전에 셀룰로오스가 풍부한 잉크 부착 부위를 느슨하게 만든다.

Trong ngành giấy, khả năng tiếp cận không chỉ phụ thuộc vào hóa học sợi mà còn phụ thuộc vào phân tán bột, mức khuấy trộn và thời gian tiếp xúc trong hệ thống. Nếu enzyme không được phân bố đều trong huyền phù, hiệu ứng có thể không đồng nhất, dẫn đến phần bột xử lý quá mạnh và phần khác

gần như không được xử lý ^[3].

pH, nhiệt độ và thời gian lưu

Cellulase là protein xúc tác, vì vậy cấu trúc không gian của enzyme quyết định khả năng bám cơ chất và phản ứng thủy phân. pH, nhiệt độ và thời gian lưu ảnh hưởng đến trạng thái ion hóa của nhóm amino acid, độ bền cấu trúc protein và tốc độ phản ứng; điều kiện quá lệch có thể làm giảm hoạt tính hoặc làm enzyme mất ổn định ^[3].

Trong sản xuất giấy, điều kiện tối ưu không nên được suy diễn từ một nghiên cứu sinh khối cụ thể sang mọi nhà máy. Mỗi dây chuyền có nhiệt độ nước trắng, pH, hóa chất ướt, thời gian lưu và thành phần bột riêng; vì vậy cellulase cần được xem là một biến số quy trình cần cân bằng với chất lượng giấy và khả năng vận hành ^[1].

Chất ức chế, chất hoạt hóa và thành phần hòa tan

Dòng bột giấy có thể chứa hợp chất phenolic, lignin hòa tan, chất hoạt động bề mặt, chất oxy hóa, chất bảo quản, kim loại, nhựa cây, tinh bột, keo và phụ gia ướt. Nghiên cứu về hợp chất phenolic cho thấy các phân tử này có thể đóng vai trò hoạt hóa hoặc ức chế thủy phân cellulose tùy cấu trúc và điều kiện, nhấn mạnh rằng thành phần hòa tan trong hệ bột có thể làm thay đổi hiệu quả cellulase ^[10].

Điều này đặc biệt quan trọng với giấy tái chế, nơi nguồn nguyên liệu thay đổi theo lô và có thể chứa nhiều chất từ mực, lớp phủ và keo dán. Một quy trình cellulase hoạt động tốt với một dòng giấy thu hồi có thể cần điều chỉnh khi chuyển sang nguồn thu hồi khác ^[5].

Cellulase so với các enzyme khác trong giấy và bột giấy

Cellulase thường được nhắc cùng xylanase, hemicellulase, lipase, laccase và amylase, nhưng mỗi nhóm nhắm vào cơ chất khác nhau. Cellulase tác động lên cellulose; xylanase và hemicellulase tác động lên hemicellulose; lipase nhắm vào chất béo, sáp và pitch; laccase liên quan đến chuyển hóa hợp chất phenolic/lignin; còn amylase thường liên quan đến tinh bột trong một số ứng dụng giấy ^[1].

Điều này có ý nghĩa thực tế: nếu vấn đề chính là pitch, cellulase không phải enzyme trung tâm; nếu vấn đề chính là tinh bột, amylase có liên quan hơn; nếu mục tiêu là làm thay đổi bề mặt xơ sợi cellulose, cải thiện thoát nước hoặc hỗ trợ khử mực, cellulase mới là lựa chọn logic hơn. Cách phân vai theo cơ chất giúp tránh kỳ vọng sai về một enzyme đơn lẻ ^[1].

Trong khử mực, cellulase đôi khi được phối hợp với hemicellulase hoặc xylanase vì mực và lớp phủ không chỉ gắn với cellulose mà còn liên quan đến hemicellulose, tinh bột, chất phủ và chất kết dính. Tuy vậy, phối hợp enzyme không tự động tốt hơn; nếu tác động quá mạnh vào mạng polysaccharide, chất lượng sợi có thể bị ảnh hưởng [5].

Lợi ích công nghệ có thể đạt được khi dùng cellulase

Lợi ích thường được ghi nhận của cellulase trong ngành giấy gồm hỗ trợ tinh luyện, cải thiện thoát nước, tăng freeness trong một số hệ bột, hỗ trợ khử mực giấy tái chế và giảm phụ thuộc vào một phần xử lý hóa học mạnh. Tổng quan chuyên ngành về cellulase trong giấy và bột giấy mô tả enzyme này như một công cụ sinh học có khả năng cải thiện một số bước xử lý bột nếu được kiểm soát phù hợp [1].

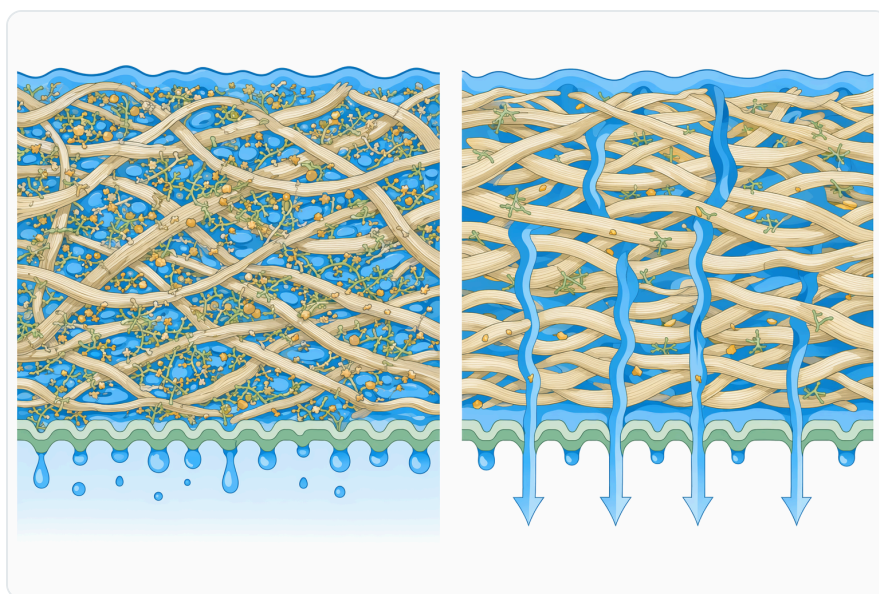


Figure 4. 셀룰레이스는 미세섬유, 피브릴, 섬유 팽윤, 기공 구조를 변화시켜 배수성과 보수성에 영향을 줄 수 있다.

Về môi trường, cellulase phù hợp với xu hướng dùng xúc tác sinh học để giảm cường độ xử lý cơ học hoặc hóa học trong một số công đoạn. Tuy nhiên, enzyme không thay thế toàn bộ hệ hóa chất, thiết bị tinh luyện, tuyển nổi, rửa, ép hoặc sấy; giá trị của nó nằm ở khả năng điều chỉnh vi cấu trúc xơ sợi để các công đoạn hiện có vận hành hiệu quả hơn [7].

Một lợi ích khác là tính chọn lọc tương đối của enzyme. So với tác nhân hóa học phản ứng rộng, cellulase có xu hướng tác động vào liên kết glycosidic trong cellulose dễ tiếp cận; nhưng tính chọn lọc này chỉ có ý nghĩa khi điều kiện quy trình được kiểm soát, vì xử lý quá lâu hoặc quá mạnh vẫn có thể làm suy giảm tính chất cơ học của sợi [3].

Giới hạn và rủi ro kỹ thuật cần hiểu đúng

Giới hạn lớn nhất của cellulase là khoảng vận hành hiệu quả phụ thuộc vào hệ bột cụ thể. Một mức xử lý tạo cải thiện thoát nước ở bột tái chế giàu fines có thể không tạo cùng kết quả trên bột nguyên sinh ít fines; ngược lại, bột đã nghiền mạnh có thể nhạy hơn với enzyme và dễ bị giảm độ bền nếu xử lý vượt nhu cầu [2].

Rủi ro thứ hai là đánh đồng “thủy phân cellulose” với “cải thiện chất lượng giấy”. Trong sản xuất biofuel hoặc glucose, mục tiêu là giải phóng đường càng hiệu quả càng tốt; trong sản xuất giấy, thủy phân quá sâu lại có thể làm giảm chiều dài chuỗi cellulose, giảm liên kết xơ sợi hoặc làm thay đổi cân bằng giữa độ bền và thoát nước [9].

Rủi ro thứ ba là bỏ qua ảnh hưởng của hóa chất ướt và tạp chất. Một hệ bột có nhiều chất oxy hóa, hợp chất phenolic, lignin hòa tan, chất phủ hoặc phụ gia không tương thích có thể làm giảm hiệu quả enzyme hoặc tạo kết quả khó dự đoán; nghiên cứu về chất phenolic trong thủy phân cellulose cho thấy một số hợp chất có thể ức chế hoặc làm thay đổi hiệu suất enzyme [10].

Cách tích hợp cellulase vào tư duy quy trình giấy

Một cách nhìn thực tế là xem cellulase như “công cụ tinh chỉnh bề mặt xơ sợi” thay vì phụ gia tạo hiệu ứng tức thì. Khi mục tiêu là thoát nước, cần liên hệ hiệu ứng enzyme với fines, độ nghiền và hệ hóa chất giữ lại; khi mục tiêu là khử mực, cần liên hệ enzyme với loại mực, lớp phủ và bước tuyển nổi/rửa; khi mục tiêu là tinh luyện, cần theo dõi cân bằng giữa năng lượng cơ học và tính chất tờ giấy [1].

Cellulase cũng cần được đặt trong toàn bộ chuỗi công nghệ. Nếu enzyme được thêm vào trước một bước có khuấy trộn tốt và có thời gian tiếp xúc phù hợp, khả năng phân bố và tác động sẽ khác với khi thêm vào điểm dòng chảy ngắn, nhiệt độ không phù hợp hoặc có nhiều chất ức chế. Các nghiên cứu tối ưu hóa thủy phân cellulose đều nhấn mạnh mối quan hệ giữa cơ chất, điều kiện phản ứng và hiệu quả enzyme [3].

Với bột tái chế, cần đặc biệt chú ý đến biến động nguồn giấy thu hồi. Một dòng giấy có nhiều giấy phủ, mực khó tách hoặc polymer bề mặt có thể phản ứng khác với dòng giấy văn phòng hoặc giấy báo; nghiên cứu về chiến lược loại bỏ tem bằng enzyme trên giấy cellulose và giấy chứa lignin cũng cho thấy thành phần giấy ảnh hưởng mạnh đến đáp ứng với enzyme [5].

Cellulase và xu hướng vật liệu cellulose giá trị cao

Ngoài sản xuất giấy truyền thống, cellulase đang được nghiên cứu trong các hướng tạo vật liệu cellulose giá trị cao, đặc biệt cellulose vi sợi, nanofibrillated cellulose và nanocellulose. Các tổng quan về nanocellulose ghi nhận enzyme có thể hỗ trợ tiền xử lý, làm giảm kháng lực cơ học của sợi và góp phần kiểm soát cấu trúc vật liệu sau phân rã [17].



Figure 5. 제지 및 펄프 분야에서 셀룰레이스는 탈묵, 백수 내 미세섬유 제어, 배수성 개선, 정련 보조, 바이오표백 지원, 나노셀룰로오스 생산, 슬러지 고부가 가치화 등에 활용된다.

Nghiên cứu về bùn nhà máy giấy cho thấy dòng phụ giàu cellulose có thể được chuyển hóa thành micro- và nanofibrillated cellulose bằng cách kết hợp thủy phân enzyme với xử lý cơ học chuyên biệt. Điều này mở ra hướng suy nghĩ về kinh tế tuần hoàn trong ngành giấy, dù việc triển khai thực tế còn phụ thuộc vào chất lượng dòng thải, tạp chất và yêu cầu sản phẩm cuối [16].

Các nghiên cứu khác về sản xuất cellulose nano từ sinh khối như sả hoặc bông cũng cho thấy thủy phân enzyme có thể đóng vai trò trong việc tách hoặc điều chỉnh cấu trúc cellulose ở thang vi mô. Tuy nhiên, các quy trình này không nên được hiểu là tương đương trực tiếp với ứng dụng cellulase trên máy giấy, vì mục tiêu vật liệu, mức xử lý và thiết bị sau enzyme khác nhau đáng kể [18].

Sản phẩm Cellulase Enzyme For Paper And Pulp Industry từ Enzymes.bio

Enzymes.bio cung cấp **Cellulase Enzyme For Paper And Pulp Industry** cho các ứng dụng công nghiệp liên quan đến giấy, bột giấy và xử lý vật liệu cellulosic. Enzymes.bio là **nhà cung cấp**, không phải nhà sản xuất enzyme hay phòng thí nghiệm phân tích; thông tin kỹ thuật nên được hiểu như tài liệu hỗ trợ ứng dụng, không phải mô tả quy trình sản xuất 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 để hỗ trợ nhận diện lô hàng, thông tin an toàn và quản lý nội bộ của bên sử dụng.

Trong bối cảnh giấy và bột giấy, sản phẩm cellulase phù hợp nhất khi được xem là enzyme hỗ trợ quy trình: tác động lên cellulose bề mặt, hỗ trợ cải thiện thoát nước, biến tính xơ sợi, khử mực hoặc xử lý dòng phụ giàu cellulose. Hiệu quả thực tế cần được đánh giá theo loại bột, mục tiêu công nghệ và điều kiện vận hành cụ thể của từng hệ thống ^[1].

Kết luận

Cellulase Enzyme cho ngành giấy và bột giấy là công cụ sinh học có cơ chế rõ ràng: thủy phân có kiểm soát các vùng cellulose dễ tiếp cận để thay đổi bề mặt xơ sợi, fines và tương tác giữa sợi với mực hoặc phụ gia. Nhờ đó, cellulase có thể hỗ trợ các mục tiêu như cải thiện thoát nước, tinh luyện bột, khử mực giấy tái chế và xử lý một số dòng cellulosic phụ trong ngành giấy ^[1].

Giá trị của cellulase nằm ở tính chọn lọc và khả năng tinh chỉnh, không phải ở việc thay thế toàn bộ hóa chất hoặc thiết bị giấy. Khi được dùng trong điều kiện phù hợp, enzyme này có thể góp phần làm quy trình giấy linh hoạt hơn; khi dùng không đúng mức hoặc không phù hợp với loại bột, nó có thể tạo hiệu ứng yếu hoặc ảnh hưởng bất lợi đến độ bền xơ sợi ^[2].

Enzymes.bio cung cấp sản phẩm theo đơn vị 1 kg qua kênh online, với CoA và SDS đi kèm khi đặt hàng. Đối với người dùng công nghiệp, cách tiếp cận đúng là xem cellulase như một phần của chiến lược tối ưu hóa quy trình giấy và bột giấy dựa trên hiểu biết về cơ chất cellulose, điều kiện vận hành và mục tiêu chất lượng sản phẩm cuối.

Đặt mua Cellulase Enzyme For Paper And Pulp Industry 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 Paper And Pulp Industry →](#)

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. Singh, S., Singh, V., Aamir, M., Dubey, M., Patel, J., Upadhyay, R., & Gupta, V. (2016). Cellulase in Pulp and Paper Industry.
2. Kaschuk, J., & Frollini, E. (2018). Effects of average molar weight, crystallinity, and hemicelluloses content on the enzymatic hydrolysis of sisal pulp, filter paper, and microcrystalline cellulose. *Industrial Crops and Products*, 115, 280-289.
3. Pandey, K., & Agrawal, M. (2024). Optimizing Enzymatic Hydrolysis Pathways: A Comprehensive Study on Enhancing Cellulose Bioconversion Efficiency for Industrial Applications. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*.
4. Yu, H., Xu, Y., Ni, Y., Wu, Q., Liu, S., Li, L., Shi-Yu, ... et al. (2018). Enhanced enzymatic hydrolysis of cellulose from waste paper fibers by cationic polymers addition. *Carbohydrate Polymers*, 200, 248-254 .
5. Farkas, Z., Puškárová, A., Šišková, A., Poljovka, A., Zámocký, M., Vadkertiová, E., Urík, M., ... et al. (2023). Evaluation of enzymatic stamp removal strategies on handmade (cellulose-based) and machine-made (lignin-containing) papers. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124599 .
6. Sarder, R., Starrett, N., Agate, S., & Pal, L. (2024). Decarbonizing paper mill sludge waste into micro and nanofibrillated cellulose via enzyme hydrolysis and dual asymmetric centrifugation. *Waste Management*, 190, 197-207 .
7. Jose, S. A., Cowan, N., Davidson, M., Godina, G., Smith, I., Xin, J., & Menezes, P. L. (2025). A Comprehensive Review on Cellulose Nanofibers, Nanomaterials, and Composites: Manufacturing, Properties, and Applications. *Nanomaterials*, 15.
8. Kumari, P., Pathak, G., Gupta, R., Sharma, D., & Meena, A. (2019). Cellulose nanofibers from lignocellulosic biomass of lemongrass using enzymatic hydrolysis: characterization and cytotoxicity assessment. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, 27, 683 - 693.
9. Mund, N., Dash, D., Mishra, P., & Nayak, N. (2021). Cellulose solvent-based pretreatment and enzymatic hydrolysis of pineapple leaf waste biomass for efficient release of glucose towards biofuel production. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12, 4117-4126.

10. Stamogiannou, I., Camp, J. V., Smagghe, G., Walle, D. V., Dewettinck, K., & Raes, K. (2020). Impact of phenolic compound as activators or inhibitors on the enzymatic hydrolysis of cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*.

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.