

# Industrial Alkaline Xylanase cho xử lý bột giấy và giấy: enzyme xylanase kiềm hỗ trợ tẩy trắng bột kraft

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

**Industrial Alkaline Xylanase** là enzyme thủy phân xylan được dùng như một bước tiền xử lý sinh học trong quy trình bột giấy, đặc biệt trước các công đoạn tẩy trắng. Cơ chế chính là cắt có chọn lọc một phần xylan trên bề mặt sợi, giúp tăng khả năng khuếch tán của hóa chất tẩy, hỗ trợ giảm tiêu thụ hóa chất và giảm tải môi trường trong những điều kiện quy trình phù hợp <sup>[1]</sup>.

Trong ngành bột giấy và giấy, xylanase kiềm không được hiểu là chất “tẩy trắng” thay thế hoàn toàn chlorine dioxide, peroxide, oxygen hoặc các bước extraction. Vai trò thực tế của nó là **bleach boosting**: làm cho bột dễ tẩy hơn, nhờ đó nhà máy có thêm dư địa kỹ thuật để đạt độ trắng mục tiêu với mức hóa chất thấp hơn hoặc cải thiện hiệu quả tẩy ở cùng điều kiện hóa học <sup>[2]</sup>.

## Industrial Alkaline Xylanase là gì trong bối cảnh pulp and paper?

Industrial Alkaline Xylanase là chế phẩm enzyme xylanase công nghiệp được định hướng cho môi trường kiềm của quá trình xử lý bột giấy. Xylanase thuộc nhóm enzyme phân cắt liên kết  $\beta$ -1,4 trong xylan, một hemicellulose quan trọng có trong gỗ cứng, gỗ mềm, rơm rạ, bã mía, tre và nhiều nguyên liệu lignocellulose khác <sup>[1]</sup>.

Điểm cần nhấn mạnh là ứng dụng trong giấy không nhằm thủy phân triệt để toàn bộ hemicellulose. Trong tẩy trắng bột kraft, mục tiêu thường là xử lý có kiểm soát phần xylan tái bám hoặc hiện diện trên bề mặt sợi, nơi có thể cản trở sự khuếch tán của hóa chất tẩy và giữ lại lignin hoặc các cấu trúc tạo màu <sup>[3]</sup>.

Thuật ngữ “alkaline” cho biết enzyme được lựa chọn vì phù hợp hơn với điều kiện pH kiềm hoặc kiềm nhẹ thường gặp sau nấu kraft, sau rửa bột nâu, sau oxygen delignification hoặc trong các chuỗi xử lý bột giấy công nghiệp. Các nghiên cứu về xylanase kiềm, chịu nhiệt và ít/không có cellulase được quan tâm đặc biệt vì chúng gần với yêu cầu vận hành của ngành giấy hơn so với nhiều enzyme trung tính hoặc acid <sup>[4]</sup>.

Enzymes.bio cung cấp Industrial Alkaline Xylanase cho ứng dụng xử lý bột giấy và giấy với vai trò **nhà cung cấp thương mại**, không phải nhà sản xuất enzyme hay phòng thí nghiệm phát triển enzyme. 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 nội bộ.

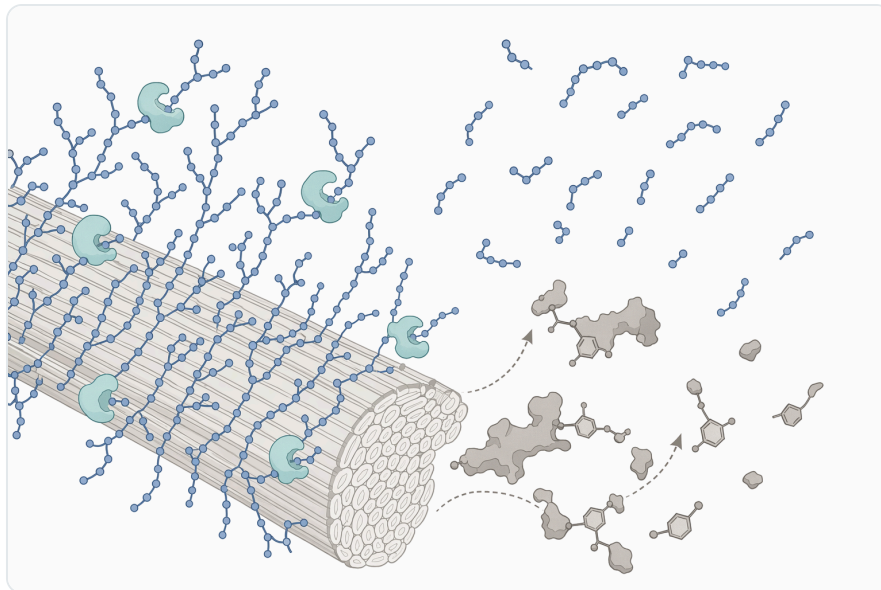
## Vì sao xylanase kiếm hữu ích trong tẩy trắng bột giấy?

Trong quy trình kraft, lignin được loại bỏ phần lớn ở giai đoạn nấu và các bước tẩy tiếp theo, nhưng một phần lignin, chromophore và cấu trúc liên quan vẫn còn trong bột. Đồng thời, xylan có thể hòa tan trong môi trường nấu kiềm rồi tái kết tủa lên bề mặt sợi khi điều kiện thay đổi, tạo một lớp hemicellulose ảnh hưởng đến khả năng tiếp cận của hóa chất tẩy <sup>[3]</sup>.

Xylanase giúp mở đường khuếch tán bằng cách thủy phân một phần xylan bề mặt. Khi lớp cản trở này được làm “mỏng” hoặc trở nên dễ thấm hơn, chlorine dioxide, peroxide, oxygen hoặc các chất tẩy khác có thể tiếp xúc hiệu quả hơn với lignin còn lại, trong khi các mảnh lignin đã bị oxy hóa cũng dễ thoát ra khỏi thành sợi hơn <sup>[2]</sup>.

Về mặt môi trường, lợi ích được quan tâm nhiều nhất là khả năng giảm nhu cầu hóa chất tẩy có chứa chlorine trong một số chuỗi ECF, từ đó hỗ trợ giảm phát sinh các hợp chất hữu cơ halogen hấp phụ được, thường được gọi là AOX. Các tổng quan về can thiệp enzyme trong papermaking mô tả xylanase như một hướng tiếp cận thân thiện hơn với môi trường khi được tích hợp đúng vào quy trình tẩy <sup>[3]</sup>.

Điều này đặc biệt quan trọng vì ngành giấy không chỉ tối ưu độ trắng mà còn phải kiểm soát nước thải, bùn thải, hóa chất phụ trợ và phụ phẩm từ quy trình kiềm. Những nghiên cứu về bùn vôi, nước thải kiềm và phụ phẩm từ ngành giấy cho thấy chuỗi sản xuất giấy có nhiều điểm phát sinh vật liệu cần quản lý môi trường, nên giảm tải hóa chất đầu vào là một hướng cải thiện có ý nghĩa hệ thống <sup>[5]</sup>.



**Figure 1.** 알칼리성 자일라나아제는 표면에 결합된 자일란을 가수분해하여, 이후의 표백 또는 세정 화학 공정이 섬유에 결합된 리그닌과 오염물에 더 효과적으로 접근할 수 있게 합니다.

## Cơ chế tác động: xylanase cắt xylan, không “ăn” cellulose

Xylan là polysaccharide có khung chính gồm các đơn vị xylose liên kết  $\beta$ -1,4, thường mang các nhánh như arabinose, glucuronic acid, acetyl hoặc các nhóm thay thế khác tùy nguồn nguyên liệu. Endo-xylanase cắt ngẫu nhiên các vị trí trong khung xylan, tạo các đoạn xylo-oligosaccharide ngắn hơn và làm giảm tính liên tục của mạng hemicellulose [1].

Trong bột kraft, xylan không chỉ nằm rải rác trong thành sợi mà còn có thể hiện diện ở lớp ngoài của sợi sau khi bị hòa tan và tái lắng. Lớp này có thể giữ lại lignin, che chắn chromophore hoặc làm giảm tốc độ khuếch tán của hóa chất, nên việc cắt có kiểm soát giúp bề mặt sợi trở nên dễ xử lý hơn trong các bước tẩy sau [2].

Một điểm kỹ thuật quan trọng là xylanase dùng cho pulp and paper thường được ưu tiên khi có hoạt tính cellulase thấp hoặc không đáng kể. Cellulose là khung chính quyết định độ bền sợi; nếu enzyme đi kèm cellulase mạnh hoặc điều kiện xử lý quá khắc nghiệt, độ nhớt bột và tính chất cơ lý của giấy có thể bị ảnh hưởng bất lợi [4].

Vì vậy, cơ chế mong muốn không phải là “phân hủy sợi” mà là điều chỉnh bề mặt hemicellulose. Có thể hình dung xylanase như công cụ mở khóa lớp cản trở ở quy mô vi mô: nó làm tăng tính thấm của thành sợi và cải thiện khả năng giải phóng lignin, nhưng không nhằm phá vỡ cấu trúc cellulose tạo nên độ bền của bột giấy [6].

## Vì sao phải là alkaline xylanase thay vì xylanase thông thường?

---

Nhiều xylanase tự nhiên có vùng hoạt động tối ưu ở pH acid hoặc trung tính, phù hợp với thực phẩm, thức ăn chăn nuôi hoặc chuyển hóa sinh khối. Tuy nhiên, dòng bột giấy sau nấu kraft và sau các bước xử lý kiềm thường không lý tưởng cho các enzyme nhạy kiềm, nên enzyme dùng trong giấy cần giữ được hoạt tính và độ ổn định trong môi trường pH cao hơn [1].

Nếu nhà máy phải điều chỉnh pH quá sâu để phù hợp với một enzyme không chịu kiềm, lợi ích quy trình có thể bị giảm bởi chi phí hóa chất điều chỉnh pH, tăng muối trong nước thải, gián đoạn vận hành hoặc rủi ro ăn mòn thiết bị. Vì vậy, xylanase kiềm được quan tâm như một lựa chọn thực tế hơn cho các dây chuyền vốn đã vận hành trong môi trường kiềm [7].

Các nghiên cứu về xylanase kiềm chịu nhiệt và không có cellulase cho thấy hướng phát triển enzyme phục vụ pulp and paper tập trung vào ba đặc tính: hoạt động trong pH kiềm, ổn định ở nhiệt độ công nghiệp và chọn lọc trên xylan. Đây là những yêu cầu khác biệt so với xylanase dùng trong nhiều ngành khác, nơi pH và nhiệt độ có thể dễ kiểm soát hơn [4].

Gần đây, các nghiên cứu kỹ thuật protein cũng cho thấy việc điều chỉnh điện tích bề mặt có thể cải thiện độ ổn định kiềm của xylanase, dù một số ví dụ nằm ngoài ngành giấy như xử lý dệt. Điều này củng cố xu hướng chung: tính bền kiềm không phải chi tiết phụ, mà là thuộc tính thiết kế quan trọng đối với enzyme hoạt động trong môi trường công nghiệp kiềm [8].

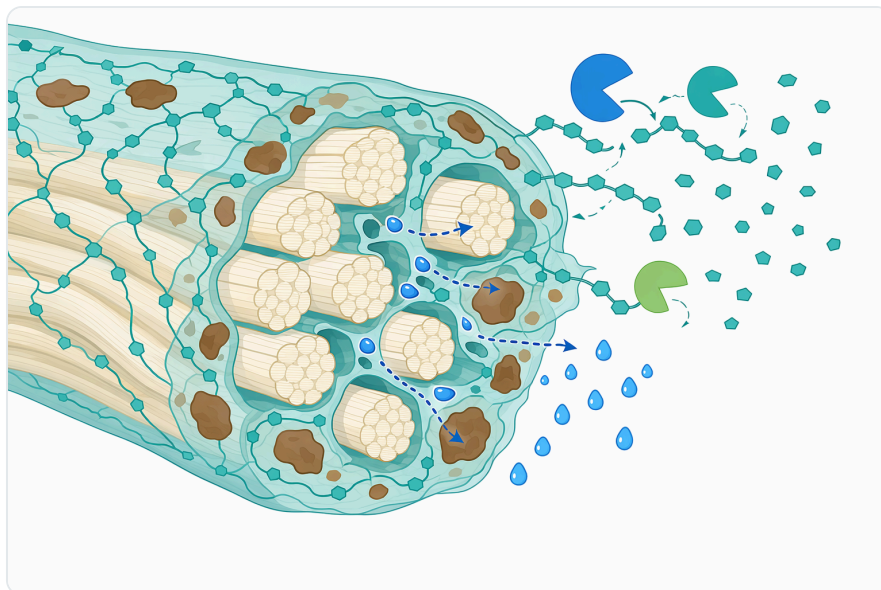
## Ứng dụng chính trong quy trình bột giấy

---

### Tiền xử lý trước tẩy trắng bột kraft

Ứng dụng phổ biến nhất của industrial alkaline xylanase là tiền xử lý bột kraft trước các bước tẩy trắng hóa học. Sau nấu và rửa, enzyme được dùng như một giai đoạn sinh học để làm bột “dễ tẩy” hơn, thường được mô tả trong tài liệu kỹ thuật như một X-stage trước các bước ECF hoặc TCF [3].

Trong bột kraft eucalyptus đã khử lignin bằng oxygen, nghiên cứu về xử lý có hỗ trợ xylanase cho thấy enzyme có thể ảnh hưởng tích cực đến hiệu quả của chuỗi ECF. Kết quả dạng này đặc biệt có ý nghĩa vì eucalyptus là nguồn gỗ cứng giàu xylan, nơi cơ chế loại bỏ xylan bề mặt có thể thể hiện rõ hơn so với một số loại bột có hàm lượng xylan thấp hơn [2].



**Figure 2.** 섬유 수준에서 자일라나아제는 리그닌을 직접 산화하거나 셀룰로오스를 분해하기보다 헤미셀룰로오스에 작용합니다.

### Hỗ trợ chuỗi ECF

ECF, hay elemental chlorine free, thường sử dụng chlorine dioxide thay cho chlorine nguyên tố. Xylanase không thay thế chlorine dioxide, nhưng có thể giúp giảm nhu cầu chlorine dioxide để đạt mức tẩy tương đương trong một số điều kiện, nhờ tăng khả năng tiếp cận lignin và giảm phần xylan cản trở trên bề mặt sợi [2].

Một ví dụ khác là nghiên cứu xylanase A từ *Bacillus halodurans* C-125 trong tẩy ECF bột rơm lúa mì, cho thấy xylanase có thể đóng vai trò “bleach boosting” với nguyên liệu phi gỗ. Điều này cho thấy cơ chế xylanase không chỉ giới hạn ở bột gỗ, dù hiệu quả cụ thể phụ thuộc mạnh vào thành phần nguyên liệu và trình tự xử lý [9].

### Hỗ trợ biobleaching bột giấy

Biobleaching là khái niệm dùng enzyme để giảm phụ thuộc vào hóa chất tẩy mạnh, trong đó xylanase là một trong những enzyme được nghiên cứu nhiều nhất. Các nghiên cứu về xylanase từ *Trichoderma asperellum*, *Penicillium* và các vi sinh vật khác đều phản ánh mối quan tâm lâu dài của ngành giấy đối với hướng tẩy sinh học [6].

Trong các nghiên cứu này, xylanase thường được đánh giá qua khả năng cải thiện độ trắng, giảm chỉ số kappa hoặc giảm nhu cầu hóa chất trong bước tẩy tiếp theo. Tuy nhiên, kết quả không nên được diễn giải như một mức cam kết cố định, vì enzyme, loại bột, điều kiện tiền xử lý và chuỗi tẩy khác nhau có thể cho đáp ứng khác nhau [10].

## Xử lý bột giấy tái chế

Ngoài bột kraft nguyên sinh, xylanase cũng được nghiên cứu trong xử lý bột giấy tái chế. Một nghiên cứu về xử lý xylanase kết hợp áp suất cao cho bột tái chế cho thấy enzyme có thể được xem xét như một công cụ cải thiện tính chất làm giấy trong bối cảnh tái chế sợi [11].

Với bột tái chế, cơ chế có thể không hoàn toàn giống tẩy trắng bột kraft vì sợi đã trải qua nhiều vòng sấy, tái ướt, nghiền và tiếp xúc phụ gia. Tuy vậy, tác động lên hemicellulose bề mặt và khả năng thay đổi tính thấm của sợi vẫn là nền tảng giải thích vì sao xylanase được quan tâm trong phân khúc này [11].

## Bảng so sánh: xử lý hóa học đơn thuần và xử lý có hỗ trợ alkaline xylanase

Tiêu chí kỹ thuật	Tẩy trắng hóa học đơn thuần	Tẩy trắng có hỗ trợ Industrial Alkaline Xylanase
Cơ chế chính	Oxy hóa, hòa tan hoặc biến đổi lignin/chromophore bằng hóa chất tẩy	Thủy phân có chọn lọc xylan bề mặt trước khi hóa chất tẩy hoạt động
Vai trò trong quy trình	Là bước tẩy chính quyết định độ trắng	Là bước tiền xử lý/bleach boosting, không thay thế toàn bộ hóa chất tẩy
Tác động đến khả năng khuếch tán	Phụ thuộc vào cấu trúc sợi và mức mở của thành sợi	Có thể tăng tính thấm bằng cách làm giảm lớp xylan cản trở
Khả năng giảm hóa chất	Bị giới hạn bởi độ khó tẩy của bột	Có thể tạo dư địa giảm hóa chất trong điều kiện phù hợp
Rủi ro kỹ thuật chính	Tiêu thụ hóa chất, phát sinh phụ phẩm, tải nước thải	Cần tương thích với pH, nhiệt độ, thời gian lưu và tránh hoạt tính cellulase không mong muốn
Phù hợp với mục tiêu môi trường	Phụ thuộc vào lựa chọn chuỗi tẩy và xử lý nước thải	Hỗ trợ chiến lược giảm hóa chất và biobleaching khi tích hợp đúng

Cách đọc bảng trên là: xylanase không biến quy trình tẩy thành “không hóa chất”, mà giúp quy trình hóa học phía sau hoạt động hiệu quả hơn. Tổng quan về enzyme trong papermaking xem các can thiệp enzyme là hướng hỗ trợ cho sản xuất giấy bền vững, đặc biệt khi mục tiêu là giảm hóa chất và cải thiện hồ sơ môi trường [3].

## Những yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả trong nhà máy

Hiệu quả của alkaline xylanase phụ thuộc trước hết vào loại nguyên liệu. Gỗ cứng thường giàu xylan hơn gỗ mềm, nên về mặt cơ chế, các bột gỗ cứng như eucalyptus có nhiều cơ sở để đáp ứng rõ với xử lý xylanase; tuy nhiên, mức đáp ứng thực tế vẫn phụ thuộc vào công nghệ nấu, rửa và tẩy cụ thể [2].

Kappa ban đầu và mức delignification trước enzyme cũng rất quan trọng. Nếu lignin còn lại quá cao, enzyme chỉ mở đường một phần nhưng hóa chất tẩy vẫn phải xử lý lượng lignin lớn; nếu bột đã được delignification sâu, xylanase có thể thể hiện vai trò tinh chỉnh để cải thiện hiệu quả các bước tẩy cuối [12].



**Figure 3.** 산성, 중성, 알칼리성 자일라나아제는 공정 적합성이 서로 다르며, 알칼리성 자일라나아제는 많은 크라프트, 추출, 과산화물 및 재생 섬유 환경에 가장 잘 맞습니다.

Điều kiện pH và nhiệt độ quyết định trạng thái hoạt động của enzyme. Alkaline xylanase được chọn vì phù hợp hơn với môi trường kiềm, nhưng mỗi enzyme vẫn có vùng hoạt động riêng; nếu điều kiện quá lệch, enzyme có thể giảm hiệu quả hoặc mất ổn định trước khi tạo được thay đổi đáng kể trên bề mặt sợi [4].

Thời gian tiếp xúc và trộn đều cũng ảnh hưởng đến kết quả. Enzyme là chất xúc tác tiếp xúc bề mặt, nên khả năng phân bố trong khối bột, độ đặc bột, mức khuấy trộn và khả năng tiếp cận sợi sẽ quyết định mức độ thủy phân xylan có đồng đều hay không [1].

Ngoài ra, rửa bột nâu và thành phần hóa chất còn sót lại có thể làm thay đổi hiệu quả. Kiểm dư, chất oxy hóa, kim loại chuyển tiếp hoặc phụ gia quy trình có thể ảnh hưởng đến cấu trúc bột hoặc độ ổn định của enzyme, nên xylanase cần được xem là một phần của hệ quy trình chứ không phải phụ gia hoạt động độc lập <sup>[3]</sup>.

## Tính chọn lọc cellulase-free hoặc low-cellulase vì sao quan trọng?

---

Trong giấy, cellulose là thành phần cốt lõi tạo độ bền kéo, độ bền xé, độ bền đục và khả năng hình thành mạng sợi. Vì vậy, enzyme dùng trong tẩy bột cần ưu tiên thủy phân xylan mà không gây tổn hại đáng kể đến cellulose <sup>[4]</sup>.

Các nghiên cứu về xylanase kiểm không có cellulase nhấn mạnh tính phù hợp cho pulp and paper vì mục tiêu là làm giảm rào cản hemicellulose chứ không làm suy giảm khung cellulose. Đây là khác biệt quan trọng giữa xylanase công nghiệp cho giấy và một số hệ enzyme dùng trong thủy phân sinh khối, nơi phân giải nhiều polysaccharide có thể là mục tiêu mong muốn <sup>[4]</sup>.

Nếu chế phẩm có cellulase không mong muốn hoặc điều kiện xử lý quá mạnh, nguy cơ là giảm độ nhớt bột, giảm chiều dài hiệu dụng của chuỗi cellulose hoặc ảnh hưởng tính chất cơ lý của giấy thành phẩm. Do đó, trong ngôn ngữ kỹ thuật của ngành, “xylanase chọn lọc” không phải tuyên bố tiếp thị chung chung mà là yêu cầu trực tiếp liên quan đến chất lượng sợi <sup>[1]</sup>.

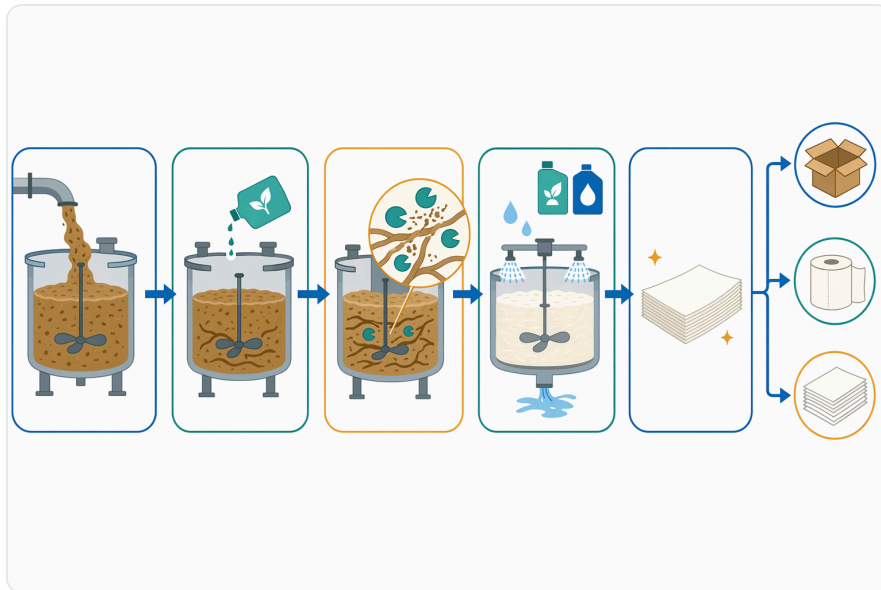
## Lợi ích môi trường: giảm hóa chất, giảm AOX và hỗ trợ sản xuất sạch hơn

---

Một trong những động lực lớn của xylanase trong ngành giấy là giảm phụ thuộc vào hóa chất tẩy có khả năng tạo phụ phẩm khó xử lý. Khi xylanase giúp cùng một chuỗi tẩy đạt hiệu quả cao hơn, nhà máy có thể có cơ sở kỹ thuật để tối ưu lượng chlorine dioxide hoặc hóa chất oxy hóa khác trong phạm vi quy trình cho phép <sup>[3]</sup>.

AOX là nhóm chỉ tiêu thường được nhắc đến khi thảo luận về tẩy trắng có hợp chất chlorine. Xylanase không trực tiếp “xử lý AOX” trong nước thải, nhưng bằng cách hỗ trợ giảm nhu cầu hóa chất chứa chlorine, nó có thể gián tiếp góp phần giảm tiền chất tạo AOX trong một số quy trình <sup>[9]</sup>.

Lợi ích môi trường cũng cần được hiểu theo toàn bộ hệ thống. Ngành giấy phát sinh nhiều dòng phụ phẩm như bùn giấy, bùn vôi và nước thải kiềm; các nghiên cứu về tận dụng phụ phẩm trong vật liệu xây dựng hoặc geopolymer cho thấy áp lực quản lý dòng thải là vấn đề rộng hơn của toàn ngành <sup>[13]</sup>.



**Figure 4.** 크라프트 표백 증강 공정에서 자일라나아제는 일반적으로 리그닌 접 근성을 높이기 위해 주요 산화 표백 단계 전에 투입됩니다.

Vì vậy, enzyme như xylanase không phải giải pháp môi trường đơn lẻ, nhưng là một phần của chiến lược giảm tải từ nguồn. Khi lượng hóa chất tẩy và mức oxy hóa không cần thiết được tối ưu, gánh nặng cho xử lý nước thải và quản lý phụ phẩm có thể được cải thiện theo hướng bền vững hơn <sup>[5]</sup>.

## Ứng dụng với nguyên liệu phi gỗ và bột đặc thù

Ngoài bột gỗ, xylanase còn được nghiên cứu với rơm lúa mì, bã mía, tre và các nguyên liệu lignocellulose phi gỗ khác. Những nguyên liệu này thường có cấu trúc hemicellulose, silica, lignin và chất trích ly khác với gỗ, nên phản ứng với enzyme có thể khác biệt đáng kể <sup>[9]</sup>.

Nghiên cứu về xylanase trong tẩy ECF bột rơm lúa mì cho thấy enzyme có thể hỗ trợ hiệu quả tẩy đối với nguyên liệu nông nghiệp. Điều này có ý nghĩa tại các khu vực sử dụng nguyên liệu phi gỗ để sản xuất giấy bao bì, giấy in viết hoặc bột bán hóa học <sup>[9]</sup>.

Tuy nhiên, không nên suy luận rằng một điều kiện dùng cho eucalyptus, rơm lúa mì hoặc bột giấy tái chế sẽ áp dụng nguyên vẹn cho mọi nguyên liệu. Thành phần xylan, mức lignin còn lại, độ nghiền, độ rửa và lịch sử xử lý sợi đều ảnh hưởng đến kết quả <sup>[1]</sup>.

## Bằng chứng nghiên cứu hiện có: mạnh ở cơ chế, phụ thuộc ở hiệu suất

Tài liệu khoa học về xylanase trong pulp and paper khá phong phú, bao gồm tổng quan, nghiên cứu enzyme học và thử nghiệm trên nhiều loại bột. Các tổng quan hiện đại mô tả xylanase là một biocatalyst triển vọng vì nguồn gốc đa dạng, cơ chế rõ ràng và phạm vi ứng dụng rộng trong công nghiệp <sup>[1]</sup>.

Các nghiên cứu ứng dụng như xử lý xylanase cho bột kraft eucalyptus trong chuỗi ECF cung cấp bằng chứng trực tiếp hơn cho bối cảnh nhà máy giấy. Những công trình này cho thấy enzyme có thể tạo khác biệt trong hiệu quả tẩy, nhưng kết quả vẫn gắn với loại bột, điều kiện xử lý và chuỗi tẩy cụ thể [2].

Các nghiên cứu về xylanase từ *Trichoderma reesei* trong tẩy bột giấy thải, *Trichoderma asperellum* trong biobleaching, hoặc *Penicillium* trong ứng dụng giấy đều mở rộng cơ sở bằng chứng rằng nhiều nguồn xylanase có thể được khai thác cho ngành pulp and paper. Tuy nhiên, khác biệt về đặc tính enzyme khiến việc đánh giá phải dựa trên bối cảnh ứng dụng, không chỉ dựa vào tên “xylanase” [7].

Bên cạnh đó, các nghiên cứu về enzyme bền kiềm, bền nhiệt và thiết kế protein cho thấy ngành đang đi theo hướng tạo hoặc lựa chọn xylanase phù hợp hơn với điều kiện công nghiệp. Đây là cơ sở để alkaline xylanase được xem là phân khúc kỹ thuật riêng, thay vì chỉ là một biến thể chung của enzyme xylanase [8].

## Giới hạn cần hiểu đúng

Giới hạn đầu tiên là xylanase không thể bù cho mọi vấn đề của quy trình tẩy. Nếu nấu không ổn định, rửa bột nâu kém, kappa dao động lớn hoặc chuỗi tẩy chưa phù hợp, enzyme có thể không mang lại hiệu quả như kỳ vọng vì nguyên nhân gốc nằm ở vận hành upstream hoặc downstream [12].

Giới hạn thứ hai là enzyme có tính chọn lọc sinh học nhưng vẫn chịu chi phối bởi điều kiện vật lý – hóa học. pH, nhiệt độ, thời gian lưu, độ đặc bột và hóa chất còn sót lại đều có thể làm thay đổi tốc độ phản ứng, mức thủy phân và độ ổn định của enzyme [1].



**Figure 5.** 자일란이 접근성을 제한할 때 자일라나아제는 크라프트 펄프 표백, 비목재 펄프 처리, 회수 섬유 탈목, 더 깨끗한 섬유 가공을 지원할 수 있습니다.

Giới hạn thứ ba là lợi ích môi trường phụ thuộc vào việc có thực sự tối ưu hóa hóa chất tẩy sau xử lý enzyme hay không. Nếu xylanase được thêm vào nhưng lượng hóa chất tẩy không được điều chỉnh hoặc không có mục tiêu quy trình rõ ràng, lợi ích về AOX, chi phí hóa chất hoặc tải nước thải có thể không thể hiện đầy đủ [3].

Giới hạn cuối cùng là không nên xem mọi xylanase là tương đương. Xylanase acid, trung tính, kiềm, chịu nhiệt, có cellulase phụ hoặc không có cellulase phụ có thể tạo kết quả rất khác nhau trong cùng một loại bột [4].

## Vị trí phù hợp của Industrial Alkaline Xylanase trong danh mục Enzymes.bio

---

Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processing tại Enzymes.bio phù hợp với nhu cầu tìm kiếm một enzyme xylanase công nghiệp định hướng cho xử lý bột giấy trong môi trường kiềm. Nội dung này nhằm giúp người dùng kỹ thuật hiểu cơ chế, lợi ích và giới hạn của enzyme trước khi tích hợp vào đánh giá quy trình nội bộ.

Enzymes.bio không trình bày sản phẩm như một enzyme do chính Enzymes.bio sản xuất hoặc phát triển trong phòng thí nghiệm. Vai trò của Enzymes.bio là cung cấp sản phẩm thương mại qua kênh online, theo đơn vị **1 kg**, với **CoA và SDS đi kèm khi đặt hàng** để hỗ trợ tiếp nhận, lưu kho và quản lý an toàn.

Đối với khách hàng B2B trong ngành giấy, giá trị thực tế của sản phẩm nằm ở việc bổ sung một công cụ sinh học vào danh mục tối ưu hóa quy trình: hỗ trợ tẩy trắng, giảm cản trở do xylan bề mặt và tạo điều kiện cho chiến lược giảm hóa chất khi điều kiện vận hành cho phép [2].

## Kết luận

---

Industrial Alkaline Xylanase là enzyme xylanase kiềm được ứng dụng chủ yếu như bước tiền xử lý bột giấy, đặc biệt trong tẩy trắng bột kraft và các chuỗi ECF/TCF. Cơ chế cốt lõi là thủy phân có kiểm soát xylan bề mặt, tăng tính thấm của sợi và hỗ trợ hóa chất tẩy tiếp cận lignin hoặc chromophore hiệu quả hơn [1].

Bằng chứng nghiên cứu cho thấy xylanase có thể hỗ trợ bleach boosting, giảm nhu cầu hóa chất tẩy trong điều kiện phù hợp và góp phần vào định hướng sản xuất giấy sạch hơn. Tuy vậy, hiệu quả phụ thuộc vào nguyên liệu, trạng thái bột, pH, nhiệt độ, thời gian tiếp xúc, rửa bột và chuỗi tẩy cụ thể, nên enzyme cần được hiểu như một công cụ tối ưu hóa quy trình chứ không phải giải pháp thay thế toàn bộ công nghệ tẩy trắng [3].

Enzymes.bio cung cấp sản phẩm này theo mô hình thương mại điện tử với đơn vị **1 kg**, kèm **CoA và SDS khi đặt hàng**. Cách tiếp cận phù hợp là xem alkaline xylanase như một lựa chọn kỹ thuật cho các đơn vị đang tìm kiếm enzyme công nghiệp hỗ trợ xử lý bột giấy và giấy trong môi trường kiềm.

## Đặt mua Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processing 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 Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processing →](#)

## 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. Abena, T., & Simachew, A. (2024). [A review on xylanase sources, classification, mode of action, fermentation processes, and applications as a promising biocatalyst](#). *BioTechnologia*, 105, 273 - 285.
2. Matos, J. M. S., Evtuguin, D., Sousa, A., & Carvalho, M. (2023). [Effect of Xylanase-Assisted Treatment of Oxygen-Delignified Eucalypt Kraft Pulp on ECF Bleaching](#). *Forests*.
3. Tanveer, A., Gupta, S., Dwivedi, S., Yadav, K., Yadav, S., & Yadav, D. (2023). [Innovations in papermaking using enzymatic intervention: an ecofriendly approach](#). *Cellulose*, 30, 7393 - 7425.
4. Shrinivas, D., Savitha, G., Raviranjana, K., & Naik, G. (2010). [A Highly Thermostable Alkaline Cellulase-Free Xylanase from Thermoalkalophilic Bacillus sp. JB 99 Suitable for Paper and Pulp Industry: Purification and Characterization](#). *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 162, 2049-2057.
5. Geng, C., Ma, T., & Liu, J. (2021). [Eco-environmental benefits analysis of EcoPartnerships program of production technology of calcium carbonate from lime mud produced by alkaline papermaking](#). *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 40.
6. Sridevi, A., Ramanjaneyulu, G., & Devi, P. S. (2017). [Biobleaching of paper pulp with xylanase produced by Trichoderma asperellum](#). *3 Biotech*, 7, 1-9.
7. Ma, Q., & Yang, R. (2015). [Alkaline Xylanase Produced by Trichoderma reesei: Application in Waste Paper Pulp Bleaching](#). *Bioresources*, 10, 8048-8057.
8. Cai, Y., Zhou, H., Zheng, N., Wang, Y., Shuan, D., Deng, Y., Lu, Z., ... et al. (2025). [Rational engineering design with computer-aided surface charge modulation of highly alkali-stable xylanase for sustainable green degumming applications in the textile industry](#). *International Journal of Biological Macromolecules*, 144807 .

9. Xiao-Lin, Han, S., Zhang, N., Hu, H., Zheng, S., Ye, Y., & Lin, Y. (2013). Bleach boosting effect of xylanase A from Bacillus halodurans C-125 in ECF bleaching of wheat straw pulp. *Enzyme and Microbial Technology*, 52 2, 91-8 .
10. Sridevi, A., Narasimha, G., & Devi, P. (2019). PRODUCTION OF XYLANASE BY PENICILLIUM SP. AND ITS BIOBLEACHING EFFICIENCY IN PAPER AND PULP INDUSTRY.
11. Salgueiro, A. M., Evtuguin, D., Saraiva, J., & Almeida, F. (2016). High pressure-promoted xylanase treatment to enhance papermaking properties of recycled pulp. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100, 9885-9893.
12. Buhari, F., Njoku, K., Oboh, B., & Owolabi, F. A. (2025). INVESTIGATING LIGNIN-MODIFYING ENZYMES FOR SUSTAINABLE PULP AND PAPER PRODUCTION. *FUDMA Journal of Sciences*.
13. Saeli, M., Tobaldi, D., Seabra, M. P., & Labrincha, J. (2019). Mix design and mechanical performance of geopolymeric binders and mortars using biomass fly ash and alkaline effluent from paper-pulp industry. *Journal of Cleaner Production*.

## Liên hệ Enzymes.bio

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

EMAIL [wholesale@enzymes.bio](mailto: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.