

Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processing : パルプ漂白・製紙工程用アルカリ性キシラナーゼ

Enzymes.bio リサーチチーム・ニュージーランド・ウェリントン・June 18, 2026

Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processing は、パルプ中のキシランを選択的に加水分解し、漂白前処理、ろ水・脱水性改善、繊維構造の緩和を支援するアルカリ性キシラナーゼです。製紙工程では、漂白薬品を直接置き換える薬剤ではなく、ヘミセルロース障壁を部分的にほどいて薬品浸透と残留リグニン除去を助ける工程補助酵素として位置づけられます^[1]。Enzymes.bio では、本製品をパルプ・紙加工向けに 1 kg 単位でオンライン販売しており、CoA と SDS は注文時に併せて提供されます。

パルプ・製紙工程でアルカリ性キシラナーゼが使われる理由

パルプ・製紙工程でキシラナーゼが注目される理由は、漂白、洗浄、ろ過、脱水、精解といった複数の工程が、繊維表面および繊維壁内のヘミセルロース状態に強く影響されるためです。木材パルプ中のキシランはセルロース繊維に近接して存在し、クラフト蒸解後や漂白前の段階では繊維表面に再配置されたり、リグニンと炭水化物の複合的な構造に関与したりします。このキシラン層が薬品の浸透やリグニンの抽出を妨げると、同じ明度を得るために漂白薬品の負荷が高くなります。微生物キシラナーゼを用いたパルプ漂白のレビューでは、キシラナーゼが漂白助剤として研究されてきた主目的として、化学薬品使用量と環境負荷の低減が整理されています^[1]。

アルカリ性キシラナーゼは、特に中性からアルカリ性側で処理されるパルプ工程に適合しやすい点を実務上重要です。通常の漂白・洗浄ラインでは、パルプスラリーが酸性条件だけでなくアルカリ性条件にも置かれるため、酵素が工程中で失活しにくい性質は、安定した処理効果を得るうえで重要になります。Bacillus 由来アルカリ性キシラナーゼのアルカリ適応性を高める研究や、アルカリ性廃水スラッジ由来遺伝子から得られたキシラナーゼの紙産業応用可能性に関する研究は、この酵素群が製紙条件を意識して評価されてきたことを示しています^[2]。

Enzymes.bio の Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processing は、製紙用の処理助剤として、木材パルプ、植物繊維、竹由来繊維などに含まれるキシランおよび関連ヘミセルロースに作用することを意図した製品です。Enzymes.bio は製造業者や受託研究機関ではなく、B2B 向け

に酵素製品をオンライン供給する事業者であり、本製品は 1 kg 単位で直接購入できる供給品として扱われます。

作用機構：キシランの部分分解が漂白応答性を変える

キシラナーゼの基本作用は、キシラン主鎖の β -1,4-キシロシド結合を加水分解し、繊維表面や細胞壁中のヘミセルロース構造を部分的に低分子化することです。製紙工程で重要なのは、セルロース繊維そのものを広範に分解することではなく、漂白や洗浄の障壁となるキシラン画分を制御的に緩める点です。パルプ・紙産業向けに低セルラーゼ活性のキシラナーゼ抽出物を得る研究が行われているのは、セルロース主鎖の損傷を抑えながらヘミセルロースへ作用させることが、紙力と歩留まりの観点から望ましいためです^[3]。

漂白前処理としてのキシラナーゼは、リグニンを直接酸化分解するラッカーゼや他のリグニン修飾酵素とは機能が異なります。キシラナーゼは主にキシランを加水分解し、リグニンを物理的・化学的に閉じ込めているヘミセルロースの障壁を弱めます。その結果、後段の二酸化塩素、過酸化水素、酸素系処理などの漂白薬品が繊維内部へ入りやすくなり、残留リグニンが抽出されやすくなります。リグニン修飾酵素を持続可能なパルプ・製紙に利用する研究が進む一方、キシラナーゼはリグニンそのものではなくリグニン除去を妨げる炭水化物側へ作用する点で補完的です^[4]。

この作用を工程現象として見ると、キシラナーゼ処理は「繊維の開放」と「液相移動の改善」を同時に起こす処理です。キシランが部分的に切断されると、繊維表面の水和状態、微細孔の開き、繊維間の水の保持状態が変わり、洗浄液や漂白液が繊維内部へ到達しやすくなります。これにより、漂白段の反応効率だけでなく、洗浄、ろ過、脱水、排水負荷にも影響が及びます。ナノセルロース製造に関する酵素ルートのレビューでも、酵素前処理が繊維構造を穏やかに改質し、機械的処理や分散挙動に影響することが整理されています^[5]。

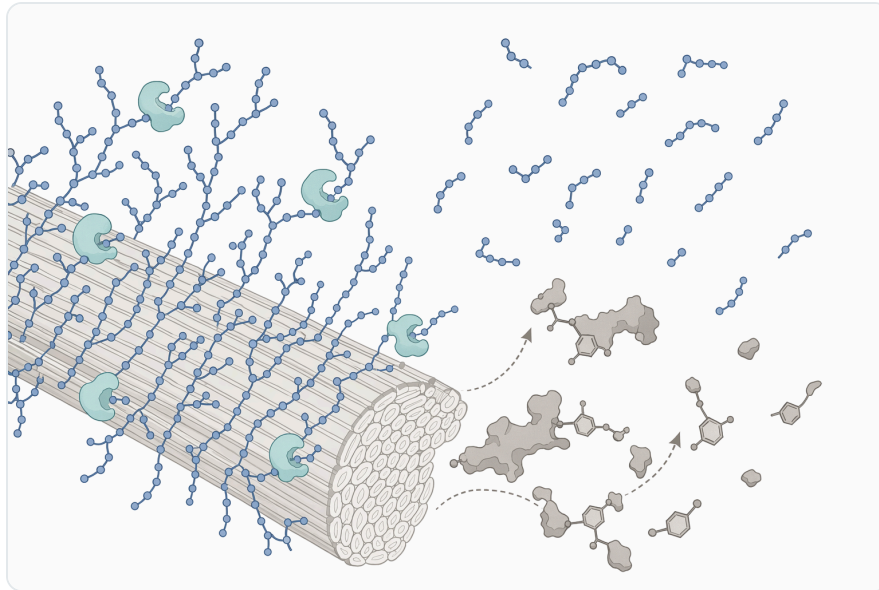


Figure 1. 알칼리성 자일라나아제는 표면에 결합된 자일란을 가수분해하여, 이후의 표백이나 세정 화학 처리가 섬유에 결합된 리그닌과 오염물에 더 효과적으로 접근할 수 있게 합니다.

漂白工程での実務的価値

パルプ漂白におけるアルカリ性キシラナーゼの中心的価値は、漂白薬品の効率を高める前処理として働くことです。キシラナーゼによってキシラン由来の障壁が緩むと、同一条件下での明度上昇、後段薬品の反応効率向上、残留着色成分の除去促進が期待されます。ただし、これは酵素が単独で漂白剤として白色度を完成させるという意味ではなく、既存の漂白シーケンスを補助する意味です。微生物キシラナーゼのパルプ漂白レビューでは、キシラナーゼ処理が塩素系薬品の使用抑制や有機塩素化合物負荷低減の文脈で検討されてきたことが示されています^[1]。

特にクラフトパルプでは、蒸解後に残る 리그닌と再沈着キシランの関係が漂白性に影響します。キシランが繊維表面を覆うと、漂白薬品が 리그닌へ到達しにくくなり、薬品使用量や処理時間が増えやすくなります。ここでキシラナーゼを前処理として用いると、キシラン層の一部が可溶化し、繊維内部からの 리그닌抽出が進みやすくなります。アルカリ性キシラナーゼを紙産業用途で評価した研究では、アルカリ側で機能する酵素が、パルプ処理条件との整合性を持つ候補として検討されています^[6]。

漂白排水への影響も重要です。塩素系漂白薬品の負荷が高い工程では、吸着性有機ハロゲン化合物などの環境指標が問題になりやすく、排水処理設備への負担も大きくなります。キシラナーゼによる前処理で漂白薬品の使用を抑えられる条件では、排水中の難分解性有機物や有機塩素化合物の負荷低減に寄与する可能性があります。パルプ・紙産業排水の生物処理や資源化に関する研究が続いていることから、工程上流での薬品負荷低減は排水管理と切り離せない課題です^[7]。

ろ水・脱水・精解エネルギーへの影響

製紙工場では、繊維を白くするだけでなく、いかに水を抜き、いかに少ないエネルギーで目的の繊維特性を得るかが操業コストに直結します。キシラナーゼ処理によって繊維表面のヘミセルロースが部分的に変化すると、スラリー中の水の保持状態、微細繊維の分散、ろ過ケーキの形成挙動が変わり、ろ水性や脱水性が改善する場合があります。硬材・軟材パルプの酵素精解に関する研究では、酵素処理が精解工程のエネルギー削減と関連して検討されており、酵素による繊維改質が機械的処理の負荷に影響することが示されています^[8]。

ただし、ろ水性改善と紙力向上は常に同じ方向へ動くわけではありません。過度に繊維表面を削る処理やセルロースへの強い作用は、紙力低下、微細分増加、歩留まり低下につながる可能性があります。そのため、製紙用途のキシラナーゼでは、ヘミセルロースに対する選択性と、セルロースへの過剰作用を避ける設計思想が重要になります。漂白パルプをティッシュ生産向けに穏やかに酵素処理した研究でも、酵素処理は柔軟性や加工性を調整する手段として扱われており、処理強度の制御が性能に関わります^[9]。

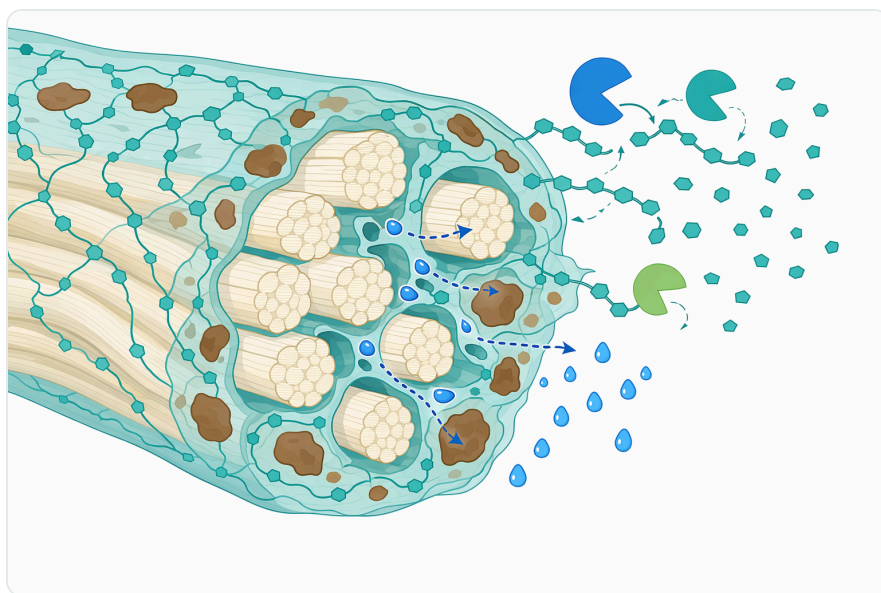


Figure 2. 섬유 수준에서 자일라나아제는 리그닌을 직접 산화하거나 셀룰로오스를 분해하는 것이 아니라 헤미셀룰로오스에 작용합니다.

精解前にキシラナーゼを使う場合、繊維壁が開きやすくなり、機械的なフィブリル化に必要なエネルギーが下がる可能性があります。一方、抄紙前のスラリー調整で使う場合は、ろ水性、スラリー流動性、シート形成への影響が中心になります。どの段階で使うかによって観察される効果は異なるため、アルカリ性キシラナーゼは「漂白専用」ではなく、漂白前処理、洗浄補助、精解補助、ろ水性改善をまたぐ工程改質酵素として理解するのが実務的です。酵素精解のエネルギー削減研究は、このような工程横断的な価値を示す根拠になります^[8]。

アルカリ性・耐熱性・低セルラーゼ性が重要な理由

製紙工程に適したキシラナーゼでは、アルカリ性条件で働くこと、処理温度に耐えること、セルロース分解が過度でないことが重要な評価軸になります。アルカリ性が不足すると、工程中の pH 調整が大きくなり、既存ラインへの組み込みが難しくなります。耐熱性が不足すると、パルプが高温で流れる工程に適合しにくくなり、保持槽や洗浄段での有効時間が短くなります。Geobacillus stearothermophilus 由来の耐熱性キシラナーゼに関する研究は、熱安定性を持つキシラナーゼがリグノセルロース処理に有用な候補として注目されていることを示しています^[10]。

低セルラーゼ性は、紙品質を守るうえで特に重要です。セルロース繊維の重合度や繊維長が大きく損なわれると、引張強度、破裂強度、耐折性などの紙力に悪影響が出る可能性があります。Thermoascus aurantiacus の新規株から、パルプ・紙産業用途を意識してセルロース分解活性の低いキシラナーゼ抽出物を得る研究が行われていることは、製紙向け酵素で選択性が重視される理由をよく示しています^[3]。

アルカリ性キシラナーゼには、細菌由来、糸状菌由来、好熱菌由来など多様な供給源があり、pH 適性、温度適性、基質特異性は酵素ごとに異なります。Cladosporium oxysporum 由来アルカリ性キシラナーゼの生産と部分特性評価、Bacillus 由来キシラナーゼのアルカリ適応性改良などの研究は、同じ「キシラナーゼ」でも産業用途に合わせて性質が細かく評価されることを示しています^[11]。

製紙工程での主な利用場面

漂白前処理とバイオブリーチング支援

最も代表的な利用場面は、未漂白または半漂白パルプを後段漂白へ送る前の酵素前処理です。キシラナーゼによってキシランが部分的に可溶化すると、繊維内に閉じ込められていたリグニン関連成分が洗浄・抽出されやすくなります。この結果、後段の漂白薬品がより効率的に働き、薬品負荷や排水負荷の抑制につながる可能性があります。キシラナーゼの紙パルプ漂白適用に関するレビューでは、この用途が微生物キシラナーゼの主要な産業応用として整理されています^[1]。

洗浄・ろ過・脱水性の改善

洗浄段や脱水段では、繊維表面に残るヘミセルロース、微細繊維、可溶化有機物が水の移動を妨げることがあります。キシラナーゼ処理によってスラリー中の高分子キシランが低分子化すると、粘性や水保持性が変化し、ろ過速度、洗浄効率、脱水挙動が改善する場合があります。これは、抄紙機の数、プレス乾燥負荷、エネルギー消費にも影響し得る工程因子です。硬材・軟材パルプの酵素精解に関する研究は、酵素処理が水分移動や機械的処理負荷と関連することを示しています^[8]。



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

再生パルプ・古紙処理

再生パルプでは、繊維がすでに機械的・化学的履歴を受けているため、未使用パルプとは異なる問題が起こります。繊維表面のヘミセルロース変質、微細繊維の増加、インキや接着剤由来成分との相互作用が、スラリー安定性や排水負荷に影響します。キシラナーゼは、再生繊維中のヘミセルロース画分を調整し、洗浄や漂白の応答性を改善する補助技術として検討されます。紙パルプを前処理なしに半加水分解し発酵利用する研究は、紙パルプが酵素的・生物的処理の基質になり得ることを示しており、再生繊維の資源化文脈とも接点があります^[12]。

ナノセルロース・高付加価値繊維材料の前処理

近年は、パルプを紙にするだけでなく、セルロースナノファイバーやナノセルロースゲルなどの高付加価値材料へ展開する研究も進んでいます。酵素前処理は、繊維を過度に化学処理せず、機械的解繊を助ける手段として利用されます。糖ビート廃棄物から酵素前処理を使ってセルロースナノファイバーゲルと紙を得る研究や、ユーカリクラフトパルプを化学酵素前処理してリン酸化ナノセルロースへ展開する研究は、ヘミセルロースや繊維表面の制御が材料特性に関わることを示しています^[13]。

キシラナーゼと他の製紙用酵素の比較

キシラナーゼは製紙用酵素の一つですが、セルラーゼ、ラッカーゼ、マンナーゼなどとは標的基質と工程効果が異なります。用途を誤ると、期待した改善が得られないだけでなく、紙力や歩留まりに不要な影響を与える可能性があります。特にキシラナーゼは、セルロース繊維そのものを主標

的にするのではなく、キシラン系ヘミセルロースを調整する点に特徴があります。セルラーゼのパルプ・紙産業利用に関するレビューは、同じ加水分解酵素でもセルロースを標的にする場合とヘミセルロースを標的にする場合で、工程上の意味が大きく異なることを示しています^[14]。

酵素タイプ	主な標的	製紙工程での主な目的	注意点
アルカリ性キシラナーゼ	キシラン、アラビノキシランなどのヘミセルロース	漂白前処理、薬品浸透性改善、ろ水・脱水性改善、精解補助	セルロースへの過剰作用を避け、処理条件を工程に合わせる必要がある
セルラーゼ	セルロース表面、微細繊維	繊維改質、柔軟性調整、脱インキ補助、ろ水性調整	過処理では紙力低下や繊維損傷につながる可能性がある
ラッカーゼなどのリグニン修飾酵素	リグニン、フェノール性構造	リグニン酸化、漂白補助、着色成分改質	メディエーターや工程条件との相性が重要
マンナナーゼ	マンナン、ガラクトマンナン	特定原料のヘミセルロース調整、ピッチ・粘着性問題の補助	原料中のマンナン量により効果が左右される

この比較から分かるように、Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processing の位置づけは「パルプ中のキシラン障壁を緩める酵素」であり、セルラーゼのようにセルロース繊維を直接改質する酵素とも、ラッカーゼのようにリグニンを酸化する酵素とも異なります。リグノセルロースナノファイブリル製造で混合酵素処理の可能性を検討した研究では、複数酵素の組み合わせが繊維改質に異なる役割を持つことが示されており、キシラナーゼ単独の役割を正確に切り分けることが重要です^[15]。

工程条件により効果が変わる理由

アルカリ性キシラナーゼの効果は、パルプ原料、蒸解法、洗浄状態、漂白シーケンス、pH、温度、パルプ濃度、接触時間、残留薬品に左右されます。たとえば、同じキシラナーゼでも、広葉樹クラフトパルプ、針葉樹クラフトパルプ、機械パルプ、再生パルプでは、キシラン量、リグニン量、繊維形態、微細繊維比率が異なります。そのため、白色度、ろ水性、薬品削減効果が同じように現れるとは限りません。ユーカリクラフトパルプを対象とする化学酵素前処理研究のように、原料と処理目的を限定して評価することが、結果解釈には不可欠です^[16]。

残留薬品も重要です。蒸解後や漂白段間のパルプには、アルカリ、酸化剤、還元剤、金属イオン、溶出有機物が残ることがあり、これらが酵素タンパク質の構造や基質アクセスに影響します。酵素が本来得意とする pH・温度域から外れると、反応速度が低下したり、失活が進んだりします。一

方、アルカリ適応性や耐熱性を持つキシラナーゼでは、製紙ラインに近い条件でも利用しやすくなります。Bacillus sp. 由来キシラナーゼのアルカリ性改善研究は、こうした工程適合性を高めるための酵素特性改変の一例です^[2]。

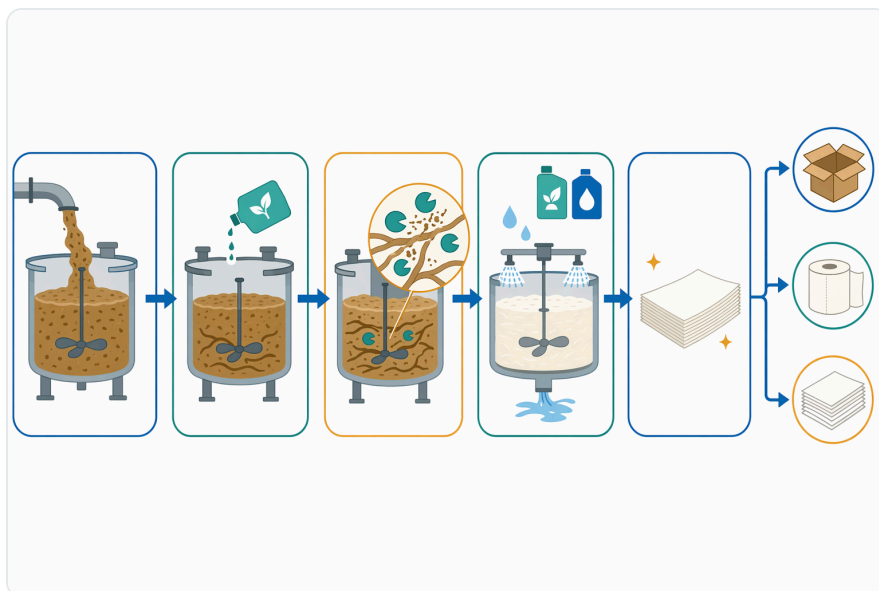


Figure 4. 크라프트 펄프 표백 강화에서 자일라나아제는 일반적으로 주요 산화 표백 단계 전에 투입되어 리그닌 접근성을 높입니다.

繊維品質への影響は、処理の強さだけでなく、どの画分が分解されるかにも依存します。適切なキシラン分解は漂白と脱水を助けますが、過剰なヘミセルロース除去は繊維間結合や保水性に影響し、紙の強度、表面性、寸法安定性に変化を与える可能性があります。機械パルプからリグノセルロースナノフィブリルを作る過程でラッカーゼ酸化が酵素機械処理に及ぼす影響を検討した研究は、繊維表面化学のわずかな違いが後段処理に影響することを示しています^[17]。

環境負荷低減と持続可能な製紙への関係

製紙産業における酵素利用は、単に薬品を減らすためだけでなく、工程全体の環境負荷を下げるための技術として位置づけられます。キシラナーゼ処理によって漂白薬品の反応効率が上がれば、薬品投入量、漂白排水中の反応副生成物、排水処理負荷を抑えられる可能性があります。微生物キシラナーゼの漂白応用レビューでは、環境適合型のバイオブリーチング技術としての可能性が示され、従来の化学的漂白を補完する選択肢として整理されています^[1]。

また、酵素処理による精解エネルギー削減や脱水性改善は、電力や蒸気の使用量削減につながる可能性があります。製紙工程では、水を移動させる、繊維を叩解する、湿紙を乾燥する、といった操作に大きなエネルギーが必要です。酵素が繊維構造を穏やかに変化させ、機械的処理や水分除去の

負荷を下げられれば、操業コストだけでなく温室効果ガス排出の削減にも関係します。硬材・軟材パルプの酵素精解研究は、エネルギー節減の観点から酵素処理が検討されていることを示しています^[8]。

一方で、酵素利用そのものがすべての環境課題を自動的に解決するわけではありません。排水負荷は、原料、漂白シーケンス、薬品回収、洗浄効率、排水処理設備の性能に依存します。パルプ・紙産業排水を油脂蓄積酵母や微細藻類・細菌系で処理し、バイオ燃料生産と統合する研究が行われていることから、環境改善は上流工程の酵素処理だけでなく、排水処理・資源化を含む総合的な設計として捉える必要があります^[18]。

Enzymes.bio 供給品としての取り扱い

Enzymes.bio の Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processing は、パルプ・製紙処理向けのアルカリ性キシラナーゼとして、1 kg 単位でオンライン直接販売される B2B 供給品です。用途は、パルプ漂白前処理、繊維構造の緩和、ろ過・脱水性改善、スラリー処理補助などを想定したものです。Enzymes.bio は製造業者や研究所として受託開発を行う立場ではなく、オンラインで購入できる酵素製品を供給する立場です。



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

保管では、酵素がタンパク質であることを前提に、湿気、直射日光、過度な熱を避け、密封状態を保つことが重要です。酵素は化学薬品と異なり、保管環境や工程内の pH・温度により機能が変化し得ます。注文時には CoA と SDS が併せて提供されるため、取り扱い、保管、安全情報はそれらの文書と製品表示に従って確認できます。

本製品の価値は、単独で紙を白くすることではなく、既存の漂白、洗浄、精解、脱水工程の中で、キシランに由来する障壁を緩める点にあります。キシラン分解により繊維の透過性が変わり、薬品浸透、水分移動、繊維加工性が改善する可能性があります。その大きさはライン条件に依存します。したがって、製紙工程での表現としては、「薬品削減を保証する酵素」ではなく、「漂白効率と水処理挙動の改善を支援するアルカリ性キシラナーゼ」と捉えるのが正確です^[1]。

製紙用途における要点整理

Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processing は、パルプ中のキシランを標的にすることで、漂白前処理、バイオブリーチング支援、ろ水・脱水性改善、精解補助、再生パルプ処理に関与できる工程補助酵素です。セルロースを主標的にする酵素ではなく、ヘミセルロースの一部を制御的に加水分解して、繊維表面と繊維壁のアクセス性を変える点が特徴です。パルプ・紙産業向けに低セルラーゼ性キシラナーゼが研究されていることは、この選択性が実務上重要であることを裏づけています^[3]。

この酵素が最も力を発揮しやすいのは、キシランが漂白薬品の浸透や水分移動を妨げている工程です。クラフトパルプの漂白前処理では薬品効率の改善、洗浄・脱水工程では水の通りやすさの改善、精解工程では機械的処理負荷の低減が期待されます。ただし、パルプ原料やライン条件が異なれば、得られる効果も異なります。酵素前処理を用いたナノセルロースや紙材料の研究が示すように、繊維表面の小さな化学的変化は、後段の機械処理や材料特性に大きく影響する場合があります^[5]。

Enzymes.bio から供給される本製品は、B2B の製紙・パルプ処理用途で利用しやすい 1 kg 単位のオンライン販売品です。CoA と SDS は注文時に提供され、製品の取り扱いと安全情報はそれらに基づいて確認できます。アルカリ性キシラナーゼを工程へ組み込む意義は、化学薬品依存を減らしながら、繊維構造、漂白応答性、水分移動をより選択的に調整することにあります。

Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processingをオンライン注文

1 kg単位で販売、在庫あり・即出荷可能です。オンラインストアで直接ご注文・決済いただければ、当社でご注文を処理します。すべてのご注文に試験成績書（CoA）と安全データシート（SDS）が付属します。

[Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processingを購入 →](#)

参考文献

初出引用順に番号を付けています。各出典はオープンアクセスで、公開時にアクセス可能であることを確認済みです。本文中の引用番号からこちらにリンクしています。

1. [Applicability of microbial xylanases in paper pulp bleaching: A review :: BioResources. Ncsu.](#)
2. Bai, W., Cao, Y., Liu, J., Wang, Q., & Jia, Z. (2016). [Improvement of alkalophilicity of an alkaline xylanase Xyn11A-LC from Bacillus sp. SN5 by random mutation and Glu135 saturation mutagenesis. BMC Biotechnology, 16.](#)
3. Costa, A. C. V., Scalabrini, R. P., Silvestre, M., Rodrigues, A., Paz, M. F., Fonseca, G., & Leite, R. S. (2016). [PRODUCTION OF XYLANASE BY A NEW STRAIN OF Thermoascus aurantiacus: OBTAINMENT OF ENZYMATIC EXTRACT WITH REDUCED CELLULOLYTIC ACTIVITY FOR APPLICATION IN PULP AND PAPER INDUSTRIES. Bioscience Journal, 32, 1040-1048.](#)
4. Buhari, F., Njoku, K., Oboh, B., & Owolabi, F. A. (2025). [INVESTIGATING LIGNIN-MODIFYING ENZYMES FOR SUSTAINABLE PULP AND PAPER PRODUCTION. FUDMA Journal of Sciences.](#)
5. Michelin, M., Gomes, D. G., Romani, A., Polizeli, M., & Teixeira, J. (2020). [Nanocellulose Production: Exploring the Enzymatic Route and Residues of Pulp and Paper Industry. Molecules, 25.](#)
6. Gupta, G. (2014). [Studies on Production of Alkaline Xylanase from Melanocarpus albomyces IIS 68 under Submerged Condition and its Application in Pulp and Paper Industry.](#)
7. Patel, A., Arora, N., Pruthi, V., & Pruthi, P. (2017). [Biological treatment of pulp and paper industry effluent by oleaginous yeast integrated with production of biodiesel as sustainable transportation fuel. Journal of Cleaner Production, 142, 2858-2864.](#)
8. Nagl, M., Haske-Cornelius, O., Bauer, W., Nyanhongo, G., & Guebitz, G. (2023). [Enhanced energy savings in enzymatic refining of hardwood and softwood pulp. Energy, Sustainability and Society, 13, 1-15.](#)
9. Kmiotek, M., Dybka-Stępień, K., & Karmazyn, A. (2021). [Mild enzymatic treatment of bleached pulp for tissue production. Bioresources, 16, 4221-4236.](#)
10. Ali, S. M., Noby, N., Soliman, N., & Omar, S. (2025). [Isolation, expression, and in silico profiling of a thermostable xylanase from Geobacillus stearothermophilus strain NASA267: insights into structural features and agro-waste valorization. Microbial Cell Factories, 24.](#)
11. Guan, G., Zhao, P., Zhao, J., Mei-Wang, Huo, S., Cui, F., & Jiang, J. (2016). [Production and Partial Characterization of an Alkaline Xylanase from a Novel Fungus Cladosporium oxysporum. BioMed Research International, 2016.](#)
12. Zhao, T., Yasuda, K., Tashiro, Y., Darmayanti, R. F., Sakai, K., & Sonomoto, K. (2019). [Semi-hydrolysate of paper pulp without pretreatment enables a consolidated fermentation system with in situ product recovery for the production of butanol. Bioresource Technology, 278, 57-65 .](#)
13. Perzon, A., Jørgensen, B., & Ulvskov, P. (2020). [Sustainable production of cellulose nanofiber gels and paper from sugar beet waste using enzymatic pre-treatment. Carbohydrate Polymers, 230, 115581 .](#)

14. Singh, S., Singh, V., Aamir, M., Dubey, M., Patel, J., Upadhyay, R., & Gupta, V. (2016). Cellulase in Pulp and Paper Industry.
15. Bian, H., Chen, L., Dong, M., Fu, Y., Wang, R., Zhou, X., Wang, X., ... et al. (2020). Cleaner production of lignocellulosic nanofibrils: Potential of mixed enzymatic treatment. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122506.
16. Reyes-González, I., Carrillo-Varela, I., Mazega, A., Tarrés, Q., Delgado-Aguilar, M., & Mendonça, R. T. (2024). Chemo-enzymatic pre-treatment of eucalyptus kraft pulp for phosphorylated nanocellulose production. *Cellulose*, 31, 10931 - 10949.
17. Henríquez-Gallegos, S., Albornoz-Palma, G., Andrade, A., Filgueira, D., Méndez-Miranda, A., Mendonça, R. T., & Pereira, M. (2024). Effect of enzyme lignin oxidation by laccase on the enzymatic-mechanical production process of lignocellulose nanofibrils from mechanical pulp. *Cellulose*, 31, 3545 - 3560.
18. Sátiro, J., Gomes, A., Florêncio, L., Simões, R., & Albuquerque, A. (2024). Effect of microalgae and bacteria inoculation on the startup of bioreactors for paper pulp wastewater and biofuel production. *Journal of Environmental Management*, 362, 121305 .


Enzymes.bioへお問い合わせ

ご注文に関するご質問は、当社チームが喜んでサポートします。

メール wholesale@enzymes.bio

電話（米国） **+1 (507) 428-6057**

[お問い合わせ →](#)

 **400+** B2B顧客

 **60+** 大学研究パートナー

 **54** 世界各国に供給

© 2026 Enzymes.bio · 産業用 · 食品加工用酵素の供給 · 人の摂取用または小売販売用ではありません。