

Industrial Grade Neutral Pectinase E3100：紙・パルプ工程向け中性ペクチナーゼ酵素

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 Grade Neutral Pectinase E3100 は、紙・パルプ工程で植物繊維中のペクチン質を処理し、繊維表面の開放、薬液アクセス性、パルプ特性の改善を支援する中性ペクチナーゼです。 ペクチナーゼはセルロース骨格そのものを主標的にする酵素ではなく、植物細胞壁・中葉に存在するペクチンの分解を通じて、繊維間の結合状態や表面化学を変える工程補助酵素として位置づけられます^[1]。Enzymes.bio は本製品の供給業者であり、製品はオンラインで 1 kg 単位により購入でき、CoA と SDS は注文時に併せて提供されます。

Industrial Grade Neutral Pectinase E3100 の位置づけ

Industrial Grade Neutral Pectinase E3100 は、紙・パルプ産業での繊維前処理、バイオパルピング支援、非木材パルプ処理、植物繊維表面の改質を想定した中性ペクチナーゼ製品です。

Enzymes.bio は製造業者または分析研究所ではなく、本製品をオンラインで供給する事業者です。そのため、本記事では製造条件、分析法、活性単位、グレード詳細のような製造者側情報ではなく、紙・パルプ用途で中性ペクチナーゼがどのように機能するかを、公開文献に基づいて整理します。

ペクチナーゼとは単一酵素名ではなく、ペクチンを分解・変換する酵素群の総称です。ペクチン分解には、ポリガラクトナーゼ、ペクチンリアーゼ、ペクチン酸リアーゼ、ペクチンメチルエステラーゼなど複数の反応様式が関わります。紙・パルプ工程では、これらの作用により植物繊維の表層や繊維間に存在するペクチン質が低分子化され、薬液や水の浸透、繊維分離、微細構造の変化に影響します^[1]。

中性ペクチナーゼという位置づけは、強酸性または強アルカリ性に大きく偏らない工程水や繊維スラリーで扱いやすいことを意味します。紙・パルプ工程では、原料、洗浄水、白水、前処理槽、蒸解前工程などの条件が一定ではないため、酵素を単独の「漂白剤」や「蒸解薬品」の代替としてではなく、既存プロセスの前段または補助段階で繊維表面を調整する生物触媒として考えることが重要です。酵素を用いた紙・パルプ処理では、単独酵素よりもキシナーゼ、ペクチナーゼ、セルラーゼなどの作用点の違いを利用した酵素系が検討されてきました^[2]。

紙・パルプ原料でペクチンが問題になる理由

植物繊維の構造を紙・パルプ工程の視点で見ると、セルロース繊維は単独で存在しているのではなく、ヘミセルロース、リグニン、ペクチン、抽出成分、灰分などの非セルロース成分とともに複合体を形成しています。ペクチンは植物細胞壁、とくに一次壁や中葉に多く存在し、細胞同士を接着する「マトリックス」成分として働きます。ペクチン分解酵素がこのマトリックスを処理すると、繊維間の付着状態が変わり、後続の機械的・化学的処理を受けやすくなります^[1]。

この作用は、木材パルプだけでなく、バガス、稲わら、小麦わら、ジュート、亜麻、麻、竹、その他農業残渣のような非木材系繊維で特に意味を持ちます。非木材繊維はペクチン、ワックス、灰分、シリカ、抽出成分などの影響を受けやすく、繊維分離や薬液浸透が不均一になりやすい場合があります。稲わらを対象とした研究では、キシラナーゼとペクチナーゼを含む酵素処理が、よりクリーンなパルピング戦略として検討され、紙品質改善と工程負荷低減の両面から評価されています^[3]。

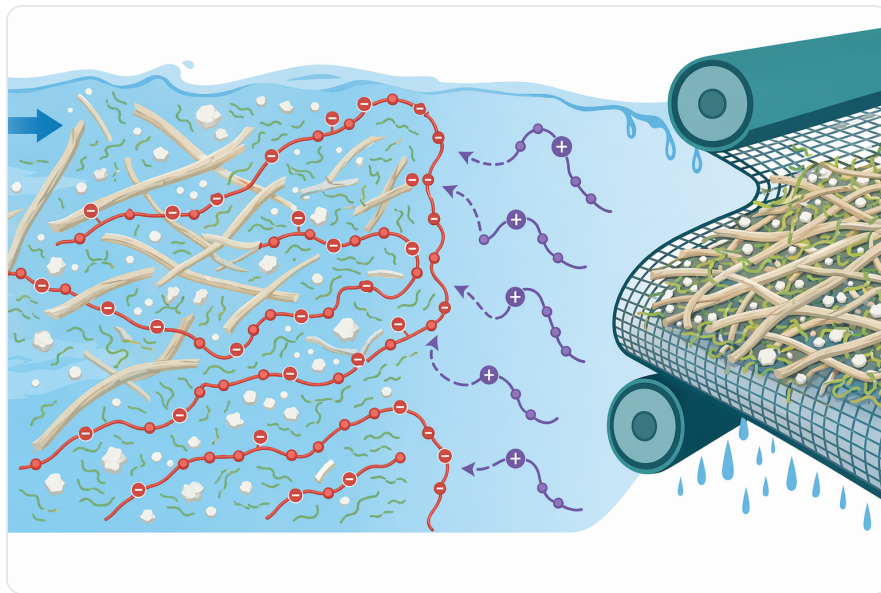


Figure 1. 용해된 펙틴계 고분자는 양이온성 습부 첨가제가 섬유, 미세분, 충전제와 상호작용하기 전에 이를 먼저 소모할 수 있습니다.

ペクチンは水に溶ける単純な汚れではありません。主鎖にガラクトuron酸を含む多糖骨格を持ち、メチルエステル化、側鎖構造、カルシウム架橋などにより物性が変化します。そのため、ペクチンを処理するには、単なる洗浄ではなく、鎖の切断、脱エステル化、ゲル構造の緩和といった分子レベルの変化が必要になります。ペクチンの構造と酵素分解性は、抽出条件や原料由来の構造差に強く依存することが報告されています^[4]。

中性ペクチナーゼの作用機序：ペクチン鎖を切り、繊維表面を開く

ペクチナーゼの基本作用は、ペクチンポリマー中の結合を切断し、高分子ペクチンをより短い断片へ変換することです。ポリガラクトツロナーゼは主にガラクトツロン酸残基間のグリコシド結合を加水分解し、リアーゼ系酵素は β 脱離反応によって不飽和オリゴガラクトツロン酸を生じます。ペクチンメチルエステラーゼはメチルエステル基を外し、他のペクチン分解酵素が作用しやすい基質状態を作る場合があります^[1]。

紙・パルプ工程で重要なのは、この反応が繊維の主骨格であるセルロース鎖の大規模切断を目的としない点です。ペクチナーゼの標的は、繊維間や繊維表層に存在するペクチン質です。これにより、細胞間接着の緩和、表面被覆の低減、孔隙や濡れ性の変化、抽出成分の除去補助などが起こり、薬品や水が繊維内部へ到達しやすくなる可能性があります。バガス繊維を対象としたペクチナーゼ処理研究では、表面形態の変化とパルプ特性の改善が関連づけられています^[5]。

分子レベルでは、ペクチンの低分子化により、繊維表面に残る粘着性・ゲル状の層が薄くなります。これにより、蒸解薬品、漂白薬品、洗浄水、サイズ剤、紙力剤などが繊維表面へ接触する条件が変わります。酵素処理後の繊維は、化学薬品を増やすのではなく、既存薬品が届きにくかった部位を露出させることで反応効率を高める方向に働きます。食品分野の酵素処理研究でも、基質構造、温度、pH、反応時間、物質移動が加水分解効率に強く影響することが示されており、これは繊維スラリー中の酵素反応を考える上でも重要です^[6]。

紙・パルプ工程で期待される機能

繊維前処理による薬液アクセス性の改善

中性ペクチナーゼを繊維前処理に用いる主な狙いは、ペクチン質を緩めて薬液アクセス性を高めることです。ペクチンが繊維表面や細胞間に残っていると、蒸解薬品がリグニンやヘミセルロースへ到達する前に、物理的・化学的な障壁として働く場合があります。ペクチナーゼがこの障壁を部分的に除くことで、後続の蒸解、洗浄、漂白、叩解の応答が変化します。小麦わらを用いた研究では、キシラナーゼとペクチナーゼを含む酵素系による環境配慮型パルピングが、良質な紙製造に向けて評価されています^[7]。

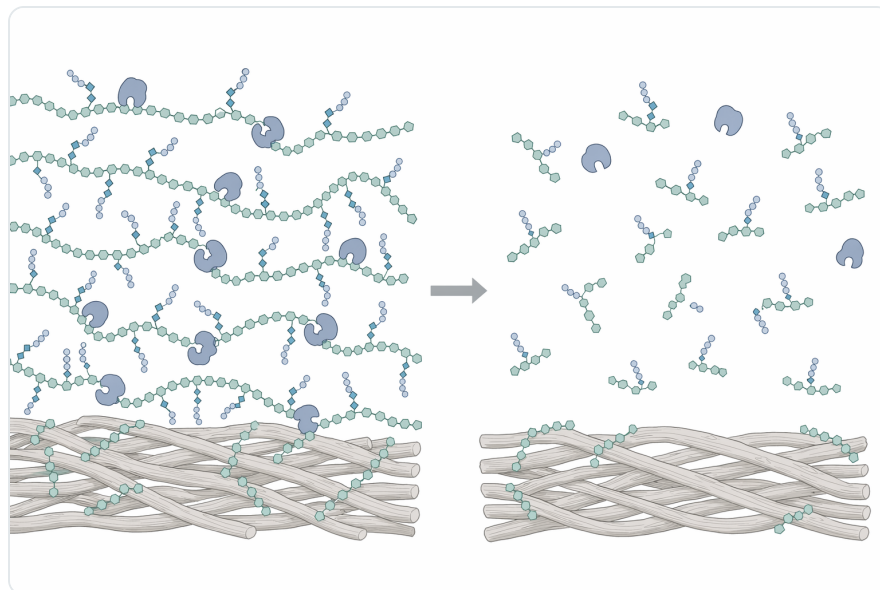


Figure 2. 중성 펙티나아제는 전하를 띠는 긴 펙틴계 고분자를 양이온 요구량에 미치는 영향이 더 낮은 짧은 조각으로 절단하여 펙틴 관련 간섭을 줄입니다.

この効果は、とくに非木材系原料で実務的意味を持ちます。非木材繊維では、木材に比べて組織構造や灰分、抽出成分が不均一であることが多く、化学処理だけで均一な繊維分離を得にくい場合があります。酵素前処理は、過度な化学条件に進む前に繊維表面を開き、後工程で必要な処理強度を下げる方向へ働く可能性があります。稲わらの酵素パルピング研究でも、農業残渣をより高品質な紙へ変換するためのクリーンな処理として、キシラノ・ペクチン分解酵素の利用が検討されています^[3]。

白色度と紙力への間接的寄与

ペクチナーゼは漂白剤ではありませんが、繊維表面の非セルロース成分を除去し、薬品浸透や不純物除去を助けることで、白色度や紙力へ間接的に寄与することがあります。バガス繊維を対象にしたペクチナーゼ処理研究では、処理後のパルプで白色度、破断長、破裂強さ、引裂き強さなどの改善が報告されています。これは、ペクチン質の除去だけでなく、繊維表面の開放、微細繊維量の変化、非セルロース成分の低減が複合的に作用した結果と解釈できます^[5]。

紙力への影響は単純ではありません。繊維間結合を高めるには、繊維が適度に柔軟で、表面が水和し、結合可能な面積が確保される必要があります。一方で、過度な繊維損傷や微細化は濾水性や紙力バランスを悪化させる可能性があります。ペクチナーゼはセルロース主鎖を直接切断する設計の酵素ではないため、繊維骨格の保持と表面改質を両立しやすい点が、セルラーゼ主体の処理とは異なります。紙表面サイズ用途の酵素研究でも、酵素の作用部位と作用様式の違いが紙の最終性能に影響することが示されています^[8]。

微細繊維、抽出成分、工程負荷への影響

ペクチナーゼ処理は、微細繊維の発生や挙動にも影響します。ペクチン質が多い原料では、繊維分離が不均一になり、強い機械処理が必要となる場合があります。ペクチナーゼ前処理によって繊維間マトリックスを緩めると、同じ機械的負荷でも繊維が比較的穏やかに分離し、微細繊維の過剰発生を抑える可能性があります。バガス繊維の研究では、ペクチナーゼ処理に伴う繊維形態の変化が観察され、パルプ特性との関連が議論されています^[5]。

また、ペクチンや一部の可溶性多糖は、白水中の溶存・コロイド物質、カチオン要求量、薬品歩留まりに影響することがあります。ペクチナーゼによって高分子ペクチンが低分子化されると、洗浄で除去されやすくなる一方、処理条件によっては溶出成分が増えることもあります。そのため、酵素反応は「入れれば必ず全工程が軽くなる」という単純なものではなく、洗浄、濾水、薬品添加順序を含む工程全体の中で評価されるべき反応です。リグノセルロース系バイオマスに対するペクチナーゼ利用研究でも、高固形分条件や複雑基質では反応性と物質移動が重要な制約になります^[9]。



Figure 3. 산성 지향, 중성 및 알칼리성 펙티나아제 개념은 주로 공정 pH 적합성과 펙틴 분해 활성이 유용한 펄프 또는 바이오매스 환경에서 차이가 있습니다.

既存酵素処理との比較

紙・パルプ分野では、ペクチナーゼ以外にもキシラナーゼ、セルラーゼ、ラッカーゼ、アミラーゼなど多様な酵素が用いられます。各酵素は標的基質が異なり、得られる工程効果も異なります。Industrial Grade Neutral Pectinase E3100 の実務的な位置づけを明確にするには、「何を分解する酵素か」と「どの工程効果を狙うのか」を区別することが重要です^[2]。

酵素タイプ	主な標的	紙・パルプ工程での主な狙い	ペクチナーゼとの違い
ペクチナーゼ	ペクチン質、細胞間マトリックス	繊維表面の開放、繊維分離補助、薬液アクセス性改善	セルロース骨格よりも繊維間・表層のペクチンを狙う
キシラナーゼ	キシランなどヘミセルロース	漂白前処理、リグニン除去補助、薬品削減支援	ヘミセルロース側から繊維壁を緩める
セルラーゼ	セルロース	脱インキ、毛羽低減、表面改質、叩解補助	条件によっては繊維強度への影響が大きい
アミラーゼ	デンプン	表面サイズ剤や澱粉粘度の調整	ペクチンではなく澱粉系添加剤に作用する
ラッカーゼ等	フェノール性リグニン構造	バイオブリーチング、リグニン変換	酸化反応が中心で、ペクチン分解とは機序が異なる

キシラナーゼとペクチナーゼは、どちらも非セルロース成分に働くため、非木材パルプの前処理で併用研究が多い酵素群です。ただし、キシラナーゼはヘミセルロースであるキシランを主に扱い、ペクチナーゼは細胞間接着や表層ゲルに関わるペクチンを扱います。農業残渣を用いたクリーンパルピング研究では、このような複数酵素の作用を組み合わせることで、品質と環境負荷の両面を改善する戦略が検討されています^[3]。

アミラーゼとの違いも実務上重要です。紙の表面サイズや塗工ではデンプンが関与するため、アミラーゼは澱粉粘度や分子量を調整する目的で使われます。一方、Neutral Pectinase E3100 の中心的な用途は澱粉処理ではなく、植物繊維原料に含まれるペクチン質の処理です。紙表面サイズ用途では、酵素の作用部位と基質特異性が紙面性状や機械的特性に影響するため、ペクチナーゼとアミラーゼを同じ「紙用酵素」として一括りにするのは適切ではありません^[8]。

バガス・農業残渣で示された科学的根拠

ペクチナーゼの紙・パルプ用途を考えるうえで、バガスのような農業残渣は重要なモデル原料です。バガスは糖業副産物として大量に発生し、セルロースを含む一方で、ペクチン、ワックス、ヘミセルロース、リグニン、灰分などが繊維処理に影響します。ペクチナーゼ処理に関するバガス研究では、処理後の繊維表面形態、結晶構造、パルプ品質が評価され、紙特性の改善が報告されています^[5]。

この研究で注目すべき点は、ペクチナーゼ処理が単に「ペクチンを減らした」という化学変化にとどまらず、繊維の形態変化として観察されていることです。未処理繊維では表面が比較的平滑で、ワックス状・疎水性の被覆が残りやすいのに対し、酵素処理後には表面の剥離、粗面化、開孔、崩

れが観察されます。このような表面変化は、薬液浸透と繊維間結合の両方に影響し得ます^[5]。

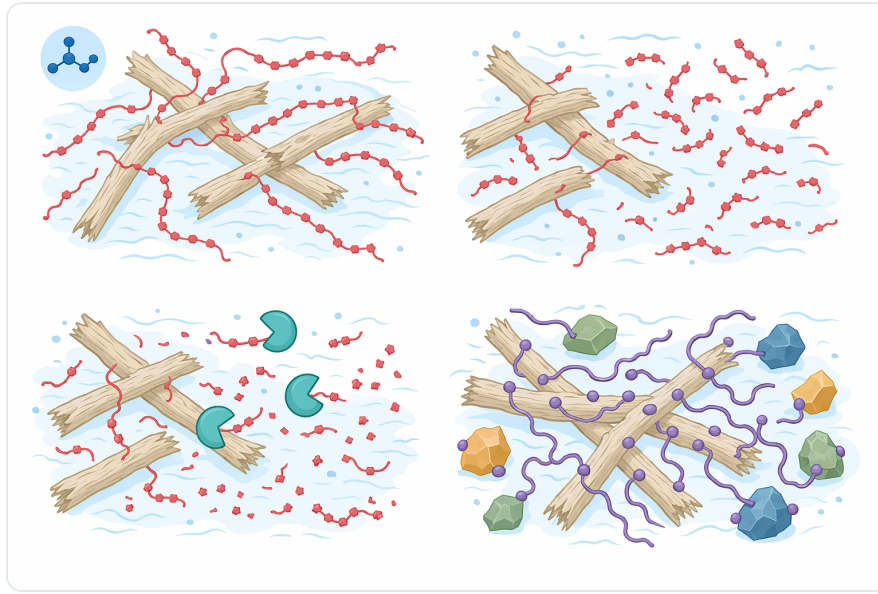


Figure 4. 공개된 과산화물 표백 열기계 펄프 연구에서는 펙티나아제 처리가 양이온 요구량 감소 및 양이온성 고분자 성능 향상과 관련이 있음을 보여줍니다.

一方で、ペクチナーゼ処理はセルロース結晶構造を根本的に変える処理ではありません。バガス研究では、セルロースの結晶構造が大きく破壊されるのではなく、非晶質成分や表層成分が相対的に変化することで、セルロース領域の見え方や結晶化度に影響が出ると解釈されています。これは、ペクチナーゼが繊維骨格の破壊よりも、周辺マトリックスの選択的調整に向くことを示す重要な点です^[5]。

小麦わらや稲わらを対象とした研究も、ペクチナーゼを含む酵素処理が農業残渣の製紙利用に有用であることを示しています。小麦わらでは、粗酵素系による環境配慮型パルピングが良質な紙製造に関連づけられ、稲わらでは、よりクリーンなキシラノ・ペクチン分解酵素戦略が紙品質改善に向けて検討されています^[7]。

ナノセルロース調製と繊維微細化への関連

ペクチナーゼは、通常のパルプ製造だけでなく、ナノセルロース調製の前処理でも注目されています。ナノセルロースを得るには、繊維壁を細かく解繊する必要がありますが、強い機械処理だけに依存するとエネルギー負荷が大きくなります。ペクチナーゼとセルラーゼの比率、前処理時間、超音波補助、加熱処理を組み合わせた研究では、酵素処理がナノセルロース調製の前段階として検討されています^[10]。

ここでのペクチナーゼの役割は、セルロースを直接ナノ化することではなく、繊維を束ねる非セルロース性マトリックスを緩めることです。ペクチンが残ったままでは、繊維壁やフィブリル同士の分離に余計なエネルギーが必要になります。ペクチナーゼがペクチン質を低分子化すると、セルラーゼや機械的せん断が作用しやすい状態になり、解繊の進み方が変わります。これは通常の紙・パルプ工程における繊維分離補助と同じ考え方です^[10]。



Figure 5. E3100은 펙틴이 관련된 경우 펄프 처리, DCS 감소, 보류제 효율 지원, 미세분 및 충전제 보류, 탈수 지원, 박피 또는 칩 처리, 정련 보조 용도로 포지셔닝되어 있습니다.

ただし、ナノセルロース用途ではセルラーゼとのバランスが重要になります。セルラーゼ作用が強すぎると、繊維長や重合度が低下し、最終材料の強度や粘度に影響する可能性があります。ペクチナーゼはこの点で、セルロース主鎖を直接狙う処理よりも穏やかな表層改質手段として位置づけられますが、実際の結果は原料、前処理、機械解繊条件に依存します^[10]。

中性条件で使う意味

中性域で扱えるペクチナーゼは、紙・パルプ工程の実務で扱いやすい選択肢になります。強酸性または強アルカリ性の条件では、酵素タンパク質の立体構造が変化し、基質結合部位や触媒部位が機能しにくくなる場合があります。酵素は分子構造に基づいて基質を認識するため、pH、温度、塩濃度、界面活性成分、金属イオン、せん断条件などが反応効率に影響します。ペクチン分解酵素の触媒機構に関するレビューでも、酵素の分類、構造、触媒様式が反応特性を左右することが整理されています^[1]。

中性ペクチナーゼは、極端なpH調整を避けたい繊維前処理、既存の白水系に近い条件、前処理後に洗浄・蒸解へ移行する工程に適合しやすいと考えられます。とくに、過度な酸・アルカリ条件を避けることは、繊維損傷、設備腐食、排水負荷、薬品消費の観点から意味があります。酵素を用いたバイオブリーチングやバイオパルピングの研究では、化学薬品だけに依存しないグリーンな工程設計が紙産業の重要課題として扱われています^[2]。

ただし、「中性」とは、あらゆる工程条件で同じ効果を示すという意味ではありません。実際の酵素反応では、原料に含まれる阻害成分、温度履歴、スラリー濃度、混合効率、接触時間、後続工程との接続が結果を左右します。酵素加水分解の研究では、反応条件と物質移動が加水分解度に影響することが繰り返し示されており、紙・パルプのような不均一固体基質では、この影響がさらに大きくなります^[6]。

用途別に見た Neutral Pectinase E3100 の適合性

用途領域	期待される役割	適合しやすい原料・工程	留意点
非木材パルプ前処理	ペクチン質の低分子化、繊維分離補助	バガス、稲わら、小麦わら、麻、ジュート等	原料中のペクチン量が効果を左右する
バイオパルピング支援	蒸解前の薬液アクセス性改善	農業残渣、繊維束が強い植物原料	後続の蒸解条件との組み合わせが重要
パルプ品質改善	白色度、紙力、微細繊維挙動への間接的寄与	表層ペクチンや抽出成分が多い原料	すべての紙力項目が同時に改善するとは限らない
ナノセルロース前処理	解繊前のマトリックス緩和	酵素・熱・超音波などを組み合わせる工程	セルラーゼとの作用バランスが重要
工程負荷低減	薬品・機械処理の効率化支援	酵素前処理を組み込める工程	洗浄・排水・白水成分への影響も評価対象

非木材パルプ前処理では、ペクチナーゼの意義が比較的明確です。バガス、稲わら、小麦わらなどは、繊維として利用可能なセルロースを含む一方、ペクチンやヘミセルロース、抽出成分、灰分が工程上の制約になります。こうした原料では、キシラナーゼとペクチナーゼを含む酵素処理が、化学薬品依存を緩和しながら紙品質を高める戦略として検討されています^[7]。

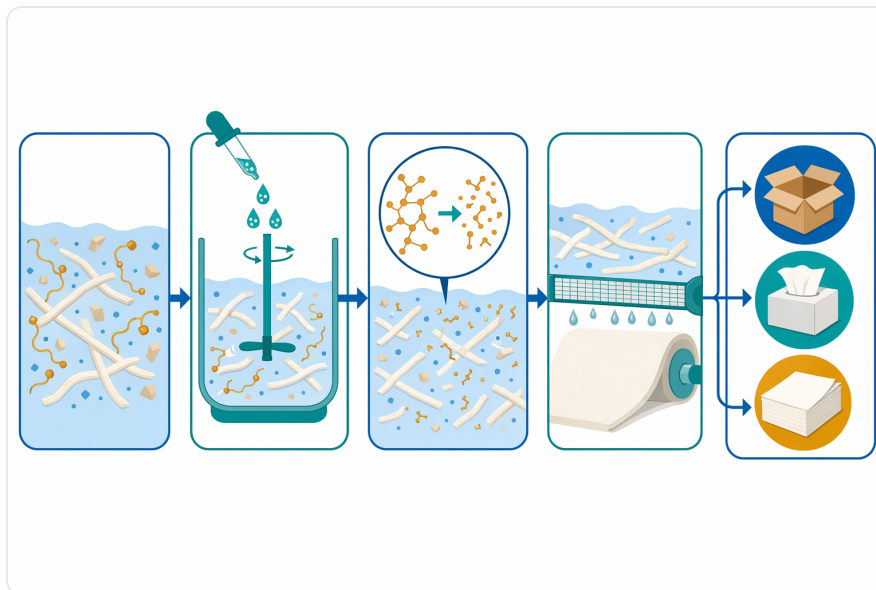


Figure 6. 효과적인 사용은 효소가 지원하려는 습부 화학 작용이 일어나기 전에, 충분한 체류 시간 동안 펙틴 함유 수상과 접촉할 수 있는 위치에 효소를 투입하는 데 달려 있습니다.

木材パルプや古紙工程での適合性は、原料中にどれだけペクチン性成分が存在するか、またそれが工程トラブルや品質課題にどの程度関与しているかによって変わります。古紙ではデンプン、接着剤、インキ、填料、サイズ剤など他の成分が複雑に混在するため、ペクチナーゼ単独で課題を解決するとは限りません。紙用酵素では、作用基質の違いを明確にして使い分けることが重要です^[8]。

実務導入時に理解しておくべき制約

Industrial Grade Neutral Pectinase E3100 は、紙・パルプ用途に有用な中性ペクチナーゼですが、すべての工程に同一の改善をもたらす万能添加剤ではありません。効果は、原料のペクチン含有量、繊維の成熟度、前処理履歴、薬品条件、温度、混合状態、スラリー濃度、後続工程の設計に依存します。ペクチン構造自体も原料と抽出・処理条件で変化するため、ペクチナーゼの作用しやすさは一様ではありません^[4]。

また、ペクチナーゼ処理により高分子ペクチンが低分子化されると、洗浄で除去しやすくなる一方、白水中の溶存有機物として一時的に増える可能性もあります。したがって、酵素処理は単独槽の反応だけでなく、洗浄、濾水、薬品添加、排水負荷、紙力剤の挙動まで含めて捉える必要があります。高固形分リグノセルロース処理におけるペクチナーゼ研究でも、基質の複雑性と反応環境が酵素利用の成果を左右することが示されています^[9]。

紙力についても、改善方向は一つではありません。繊維表面が開けば結合面積が増え、破断長や破裂強さに有利に働く可能性があります。しかし、過度な処理や不適切な機械処理と組み合わせられると、微細化、濾水低下、引裂き強さ低下など別の問題が生じることがあります。バガス研究で報告

された改善結果は有望ですが、その数値を異なる原料・工程へそのまま移すことはできません^[5]。

Enzymes.bio から購入できる製品としての要点

Industrial Grade Neutral Pectinase E3100 は、Enzymes.bio の製品ページから 1 kg 単位でオンライン購入できる紙・パルプ向け中性ペクチナーゼです。Enzymes.bio は供給業者であり、製造業者または研究所ではありません。製品に関連する CoA と SDS は注文時に併せて提供されるため、受領後の取り扱い、安全管理、社内記録に必要な基本文書を確認できます。

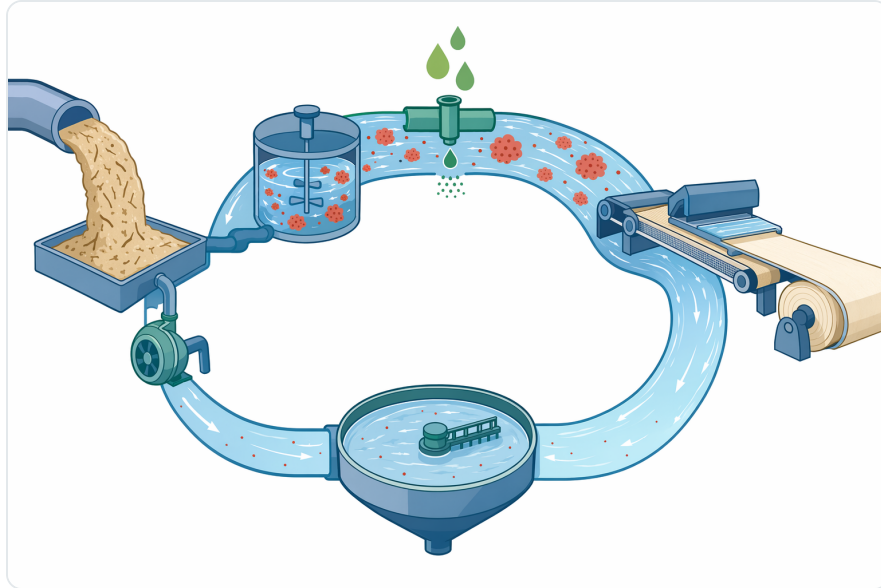


Figure 7. 펙틴 유래 DCS가 주요 간섭 요인일 때, 효소적 해중합은 양이온 요구량 감소, 더 깨끗한 순환수, 그리고 더 예측 가능한 보류 및 탈수 반응을 지원할 수 있습니다.

本製品を理解する際の核心は、「ペクチナーゼが何をするか」を過大にも過小にも評価しないことです。Neutral Pectinase E3100 は、ペクチン質を含む植物繊維の表面・繊維間マトリックスへ作用し、後続の蒸解、洗浄、漂白、叩解、抄紙での反応性を変える工程補助酵素です。ペクチン分解酵素の触媒機構は、ペクチン鎖の切断、脱エステル化、リアーゼ反応など複数の分子反応に基づいており、紙・パルプ工程ではこれが繊維表面の開放として現れます^[1]。

まとめ：Neutral Pectinase E3100 が紙・パルプ工程で果たす役割

Industrial Grade Neutral Pectinase E3100 は、紙・パルプ工程でペクチン質を含む植物繊維を処理し、繊維分離、薬液アクセス性、表面改質、パルプ品質改善を支援する中性ペクチナーゼです。特にバガス、稲わら、小麦わらなどの農業残渣や非木材繊維では、ペクチンや表層成分が処理性を左

右するため、ペクチナーゼ前処理の意義が大きくなります。バガスおよび農業残渣を対象とする研究では、ペクチナーゼを含む酵素処理が繊維形態や紙品質へ有益な影響を与える可能性が示されています^[5]。

この酵素の価値は、化学薬品を単純に置き換えることではなく、既存工程の前段で繊維表面を整え、後続処理の反応性を高める点にあります。ペクチナーゼはセルロース主鎖を大きく切断するための酵素ではなく、ペクチン性マトリックスを分解することで繊維ネットワークを緩和します。そのため、紙力、白色度、薬液浸透、微細繊維挙動、工程負荷の改善に間接的に寄与し得ます^[2]。

Enzymes.bio は本製品を供給するオンライン販売者であり、Industrial Grade Neutral Pectinase E3100 は 1 kg 単位で購入できます。注文時には CoA と SDS が提供されます。紙・パルプ用途では、原料特性と工程設計によって酵素効果が変わるため、本製品は「工程を置き換える薬品」ではなく、ペクチンを標的に繊維表面を調整する生物触媒として理解するのが最も適切です。

Industrial Grade Neutral Pectinase E3100 – Paper Industry Enzyme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 Grade Neutral Pectinase E3100 – Paper Industry Enzyme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. Zheng, L., Xu, Y., Li, Q., & Zhu, B. (2021). Pectinolytic lyases: a comprehensive review of sources, category, property, structure, and catalytic mechanism of pectate lyases and pectin lyases. *Bioresources and Bioprocessing*, 8.
2. Sharma, A., Balda, S., Gupta, N., Capalash, N., & Sharma, P. (2020). Enzyme cocktail: An opportunity for greener agro-pulp biobleaching in paper industry. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122573.
3. Nagpal, R., Mishra, O., Bhardwaj, N., & Mahajan, R. (2022). Valorization of Agro-industrial Residue-Rice Straw for Manufacturing Better Quality Paper Using Cleaner, Ultrafiltered Xylano-Pectinolytic Enzymatic Pulping Strategy. *Waste and Biomass Valorization*, 13, 4851 - 4859.

4. Semenihin, S., Fabrickaya, A., Gorodeckiy, V., Daisheva, N., Kotlyarevskaya, N., Lyusyy, N., & Usmanov, M. (2024). ALGORITHM DEVELOPMENT TO PREDICT PECTIN PROPERTIES OBTAINED FROM PROTOPECTIN USING ENZYMES. *Bulletin of KSAU*.
5. Effects Of Pectinase Treatment On Pulping Properties And The Morphology And Structure Of Bagasse Fiber. *Ncsu*.
6. Qian, J., Chen, D., Zhang, Y., Gao, X., Xu, L., Guan, G., & Wang, F. (2023). Ultrasound-Assisted Enzymatic Protein Hydrolysis in Food Processing: Mechanism and Parameters. *Foods*, 12.
7. Varghese, L. M., Agrawal, S., Nagpal, R., Mishra, O., Bhardwaj, N., & Mahajan, R. (2020). Eco-friendly pulping of wheat straw using crude xylano-pectinolytic concoction for manufacturing good quality paper. *Environmental science and pollution research international*, 27, 34574 - 34582.
8. Wang, T., Wang, F., Ma, R., & Tian, Y. (2022). Enzymatically modified starch for paper surface sizing: Enzymes with different action modes and sites. *Carbohydrate Polymers*, 291, 119636 .
9. Zheng, Y., Wang, Y., Pan, J., Zhang, J., Dai, Y., & Chen, K. (2017). Semi-continuous production of high-activity pectinases by immobilized *Rhizopus oryzae* using tobacco wastewater as substrate and their utilization in the hydrolysis of pectin-containing lignocellulosic biomass at high solid content. *Bioresource Technology*, 241, 1138-1144 .
10. Wu, X., Yuan, X., Zhao, J., Ji, D., Guo, H., Yao, W., Li, X., ... et al. (2023). Study on the effects of different pectinase/cellulase ratios and pretreatment times on the preparation of nanocellulose by ultrasound-assisted bio-enzyme heat treatment. *RSC Advances*, 13, 5149 - 5157.

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。