

Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysis : 酸性セルラーゼ液体酵素による植物繊維加水分解

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

Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysisは、酸性条件でセルロース系繊維を酵素的に加水分解し、植物組織、綿・デニム、農産副産物、前処理バイオマスなどを扱いやすくするための液状セルラーゼ製品です。セルロースの β -1,4-グリコシド結合を切断することで、繊維表面の微細構造をゆるめ、抽出性、糖化性、柔軟性、ろ過性、表面改質を工程目的に応じて支援します。Enzymes.bioは製造業者・研究所ではなく、酵素製品をオンラインで供給するサプライヤーであり、本製品は1 kg単位で直接購入でき、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

製品の位置づけ：酸性域の繊維加水分解に使う液状セルラーゼ

Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysisは、植物由来繊維中のセルロースを酵素的に部分分解する目的で使用される酸性セルラーゼです。Enzymes.bioのセルラーゼ製品群は、用途や工程条件に応じて異なるセルラーゼを供給する構成であり、本製品は「酸性条件での繊維加水分解」に焦点を置いた液状タイプとして扱われます。ここでいう繊維加水分解は、セルロースを完全に糖へ変換する用途だけを意味しません。植物細胞壁をゆるめる、布地表面の毛羽を除去する、パルプ繊維を改質する、農産残渣の分解性を高めるなど、セルロースの構造を工程上扱いやすい状態へ近づける処理全般を含みます。

セルラーゼは単一の酵素名として扱われることが多いものの、実務的にはセルロース鎖の内部、末端、短鎖糖にそれぞれ作用する複数成分の総称です。セルロースはグルコースが β -1,4結合で連結した直鎖状多糖であり、分子鎖間の水素結合により結晶性領域と非晶性領域を形成します。このため、単純な水処理や穏やかな機械処理だけでは分解されにくく、酵素のアクセス性、基質の結晶性、繊維表面の開放度が反応結果を左右します。セルラーゼ技術の産業応用では、こうしたセルロースの構造的抵抗性をどう下げるかが中心課題として扱われています^[1]。

酸性セルラーゼの価値は、酸性または弱酸性の水系工程に組み込みやすい点にあります。果実・植物抽出、デニム加工、酸性前処理後のリグノセルロース糖化、特定の繊維表面処理では、工程全体を強アルカリ側へ移すことが品質や設備に不利になる場合があります。酸性セルラーゼは、そのよ

うな工程でセルロース繊維を選択的にゆるめ、必要な範囲で加水分解するための酵素的な選択肢になります。

セルラーゼが解決する工程上の問題

植物繊維を扱う多くの工程では、セルロースが「目的成分を閉じ込める骨格」として働きます。果実や野菜の細胞壁では、セルロース微繊維がペクチン、ヘミセルロース、タンパク質、フェノール性成分などと複合化し、圧搾、抽出、ろ過、清澄の効率を制限します。農産副産物やリグノセルロース原料では、セルロースがリグニンとヘミセルロースのマトリックス内に埋め込まれているため、酵素や水が内部へ届きにくくなります。セルラーゼ補助抽出の研究では、植物組織の細胞壁分解がペクチンやポリフェノールなどの回収性に関係することが示されており、セルロース加水分解は抽出工程の物理的障壁を下げる手段として位置づけられています[2]。

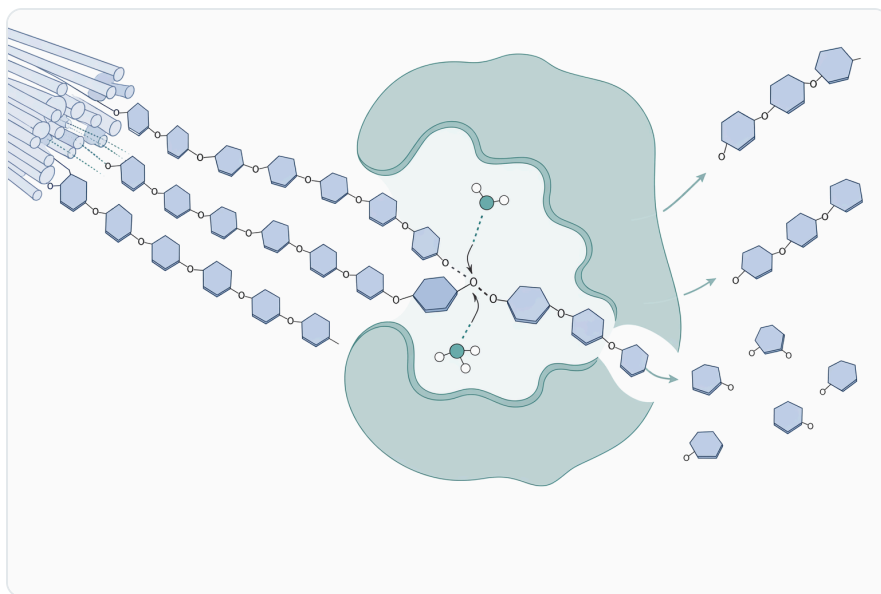


Figure 1. 산성 셀룰라아제는 셀룰로오스 섬유에 베타-1,4 글리코시드 결합을 가수분해하여 더 짧은 셀로올리고당과 포도당을 방출합니다.

繊維・衣料分野では、問題は「抽出」ではなく「表面」です。綿やデニムの表面には微細なセルロース繊維が存在し、毛羽、ざらつき、ピリング、染色後の不均一な外観に影響します。セルラーゼは繊維表面の突出したセルロースを部分的に切断し、洗浄や機械的摩擦と組み合わせさせて毛羽を除去します。熱耐性セルラーゼを用いた綿布バイオポリッシング研究では、セルラーゼ処理が綿布表面の仕上げ特性に関わることが報告されており、酵素反応が繊維加工で単なる洗浄補助ではなく表面設計の手段として使われることを示しています[3]。

パルプ・紙分野では、セルロース繊維を過度に壊さずに柔軟化し、脱墨、排水性、叩解性、表面性状に影響を与えることが目的になります。古紙脱墨ではインク粒子と繊維表面の相互作用を弱める必要があり、セルラーゼは繊維表層を軽く改質することで、機械的・界面化学的処理を補助できま

す。細菌セルラーゼを用いた古紙脱墨研究では、セルラーゼが脱墨工程の有効な酵素触媒として検討されており、紙リサイクルにおけるセルロース表面改質の実用的意義が示されています^[4]。

作用機序： β -1,4結合を切り、繊維構造を段階的にゆるめる

セルラーゼ反応の第一段階は、セルロース分子鎖中の β -1,4-グリコシド結合の加水分解です。エンドグルカナーゼはセルロース鎖の内部、とくに比較的アクセスしやすい非晶性領域を切断し、分子鎖の長さを下げます。これにより新しい鎖末端が増え、セルロース微繊維の表面がほぐれ、後続の酵素が作用しやすくなります。結晶性セルロースの分解に関する研究でも、セルロースの結晶性と酵素アクセス性が分解効率に大きく関わることを示されており、セルラーゼ反応は「化学結合を切る反応」であると同時に「固体表面を開いていく反応」でもあります^[5]。

第二段階では、セロビオヒドロラーゼなどのエキソ型酵素が、生成した鎖末端からセロビオースなどの短い糖を切り出します。さらに β -グルコシダーゼがセロビオースをグルコースへ分解することで、糖化工程では発酵可能糖の蓄積へつな갑니다。繊維加工や表面改質では、必ずしもグルコースまで分解することが目的ではありません。重要なのは、セルロース鎖を過度に壊さず、表面の毛羽、微細繊維、細胞壁の保持構造を必要な範囲で弱めることです。このため、同じ「セルラーゼ処理」でも、糖化用途とバイオポリッシング用途では反応の終点が異なります。

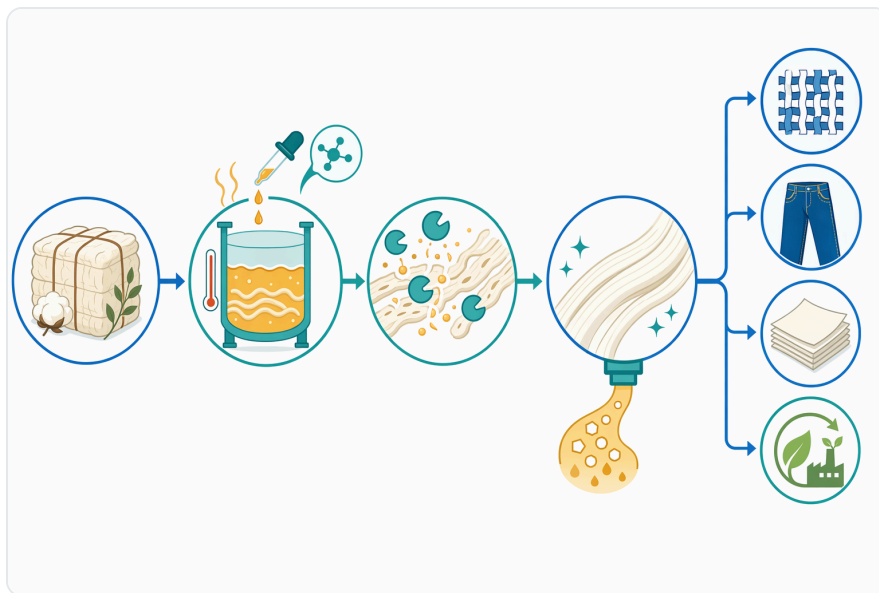


Figure 2. 산업용 섬유 가수분해 공정에서는 산성 셀룰라아제를 따뜻한 산성 욕조에 투입하여 셀룰로오스 표면을 개질하고 수용성 가수분해 산물을 방출합니다.

第三段階として、セルラーゼは他の細胞壁分解酵素と相乗的に働きます。植物細胞壁にはセルロースだけでなく、キシラン、マンナン、ペクチン、リグニン関連構造が存在するため、セルラーゼ単独では十分な構造開放が得られないことがあります。セルラーゼとキシラナーゼの相乗性に関する

産業バイオテクノロジーのレビューでは、両酵素の併用がリグノセルロース処理、飼料、紙パルプなど複数用途で重要であると整理されています^[6]。酸性セルラーゼを繊維加水分解に使う場合も、対象が純粋なセルロースなのか、ヘミセルロースやリグニンを含む複合基質なのかによって、期待される反応の見え方は変わります。

酸性条件での意義：工程pHを大きく変えずにセルロースを改質する

酸性セルラーゼが選ばれる主な理由は、酸性側の工程環境でセルロースに作用できることです。果実や植物抽出液は自然に酸性側へ傾く場合が多く、工程pHを中性やアルカリ性へ大きく動かすと、色、香り、ポリフェノール、ペクチン挙動、微生物制御、設備材質への影響が生じることがあります。酵素補助抽出では、セルラーゼが細胞壁をゆるめることで、目的成分の移動距離を短くし、圧搾や溶媒抽出で回収されやすい状態を作ります。ブドウ搾りかすから抗酸化性ポリフェノールを回収する酵素補助抽出研究でも、セルラーゼを含む酵素的処理が植物副産物の高付加価値利用に関係することが報告されています^[7]。

酸性前処理後のリグノセルロース原料でも、酸性セルラーゼは工程の連続性という点で意味を持ちます。バガス、稲わら、トウモロコシ残渣、木質系副産物などは、セルロースがリグニンとヘミセルロースに覆われており、前処理なしでは酵素が十分に接触しません。酸処理や物理化学的処理によって基質が開いた後、セルラーゼがセルロース鎖へ作用し、オリゴ糖やグルコースの生成を進めます。酸前処理サトウキビバガスの糖化に関する研究では、前処理済み基質の糖化とセルラーゼ生産条件が検討されており、原料構造と酵素反応の接続が重要であることが示されています^[8]。

一方で、酸性条件で働くことは「どの酸性工程でも同じ効果を出す」という意味ではありません。セルラーゼはタンパク質であり、温度、pH、塩、溶媒、界面活性成分、フェノール類、金属イオン、固形分濃度などの影響を受けます。コリン系深共晶溶媒とセルラーゼの適合性を調べた研究では、酵素の構造安定性と活性保持が処理媒体に左右されることが検討されており、セルラーゼをバイオマス処理へ組み込む際には反応液そのものの酵素適合性が重要であることを示しています^[9]。



Figure 3. 산성 셀룰라아제는 섬유 마감, 데님 처리, 펄프 및 제지 개질, 바이오매스 처리, 세탁 관리, 섬유질이 풍부한 사료 분야에 사용됩니다.

用途別に見る Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysis

植物繊維加水分解と抽出補助

植物原料の抽出工程では、セルラーゼは細胞壁骨格を部分分解し、目的成分が外部へ移動しやすい経路を作ります。果皮、搾りかす、種子周辺組織、野菜残渣などでは、セルロース微繊維がペクチンやヘミセルロースと絡み、粘度、保水性、ろ過抵抗を高めます。酸性セルラーゼでセルロースを部分的に短鎖化すると、圧搾液や抽出液の移動が改善され、固液分離が進みやすくなる場合があります。ピタヤ果皮からのペクチン回収研究では、セルラーゼ補助抽出が植物細胞壁構造の分解と抽出収率の最適化に関係することが検討されています^[2]。

この用途で重要なのは、セルラーゼがペクチナーゼの代替ではない点です。果実や野菜の細胞壁では、ペクチンがゲル状マトリックスとして働き、セルロースが補強繊維として働きます。ペクチンを主に崩す処理と、セルロース骨格をゆるめる処理は役割が異なります。酸性セルラーゼは、ペクチン分解だけでは十分に開かない細胞壁構造に対し、セルロース側から柔軟性を与える補助酵素として有用です。

綿・デニムのバイオポリッシングと表面改質

綿やデニムでは、セルラーゼは布地表面の微細繊維を選択的に加水分解し、洗い落とされやすい状態へ変えます。これにより、毛羽低減、ピリング抑制、滑らかな手触り、淡い色落ち、使用感のある外観が得られます。Bacillus由来セルラーゼの綿布ポリッシング研究では、セルラーゼ処理が綿布の表面仕上げに適用されることが示されており、セルロース繊維を完全に分解するのではなく、表面だけを制御する発想が中心になります^[10]。

酸性セルラーゼをデニム加工へ使う場合、反応と機械作用の両方が外観を決めます。酵素はセルロース結合を切り、摩擦や洗浄は弱くなった表面繊維を除去します。過度な処理では強度低下、過剰な色落ち、局所的なダメージが生じ得るため、繊維加工では「高い分解率」よりも「再現性のある表面変化」が価値になります。竹繊維の柔軟性とティッシュの柔らかさに関連するセルラーゼ固定化研究でも、セルラーゼが繊維柔軟性や触感に関係する表面改質酵素として扱われています^[11]。

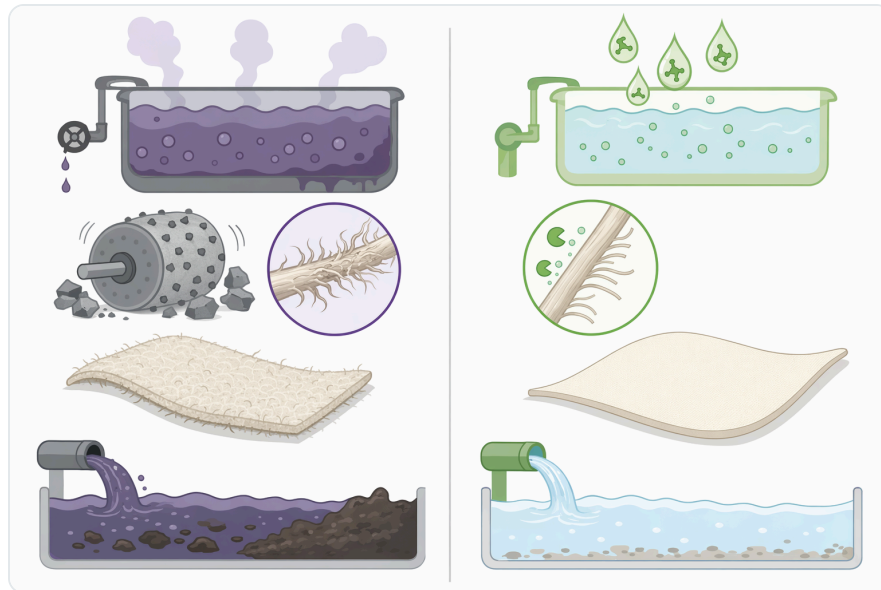


Figure 4. 강한 화학 처리나 연마 처리와 비교해, 산성 셀룰라아제는 더 온화하고 선택적인 셀룰로오스 섬유 가수분해를 가능하게 합니다.

前処理バイオマスの糖化

バイオ燃料やバイオベース化学品の製造では、セルラーゼは前処理済みリグノセルロースから発酵可能糖を作る中心酵素です。リグノセルロース原料は安価で豊富ですが、セルロースがリグニンとヘミセルロースの複合マトリックス内に保持されているため、酵素だけを加えても十分に糖化しないことがあります。D-乳酸発酵を目的とした同時糖化発酵の研究では、リグノセルロース変換における酵素使用量と変換効率の改善が検討されており、セルラーゼ反応と発酵プロセスが密接に結びつくことが示されています^[12]。

高固形分糖化では、混合条件も結果を左右します。固形分が増えると、反応液は粘くなり、酵素、基質、水の接触が不均一になります。微結晶セルロースと希酸前処理トウモロコシ芯を比較した高固形分酵素加水分解研究では、基質ごとに混合条件への応答が異なることが報告されています^[13]。これは、同じセルラーゼでも、純度の高いセルロース基質と、リグニン・ヘミセルロースを含む実バイオマスでは、反応制御の難しさが異なることを意味します。

パルプ、紙、古紙処理

パルプ・紙用途では、セルラーゼは繊維を「壊す」よりも「扱いやすくする」ために使われます。古紙脱墨では、インク粒子が繊維表面や微細繊維に保持されるため、セルラーゼによる表層改質が脱墨効率に影響します。細菌セルラーゼを用いた廃紙脱墨の研究では、セルラーゼが生物学的脱墨アプローチの有効な触媒として検討されています^[4]。酸性セルラーゼは、工程条件が合う場合、機械処理や界面化学処理を補完し、繊維表面の微細構造を調整する選択肢になります。

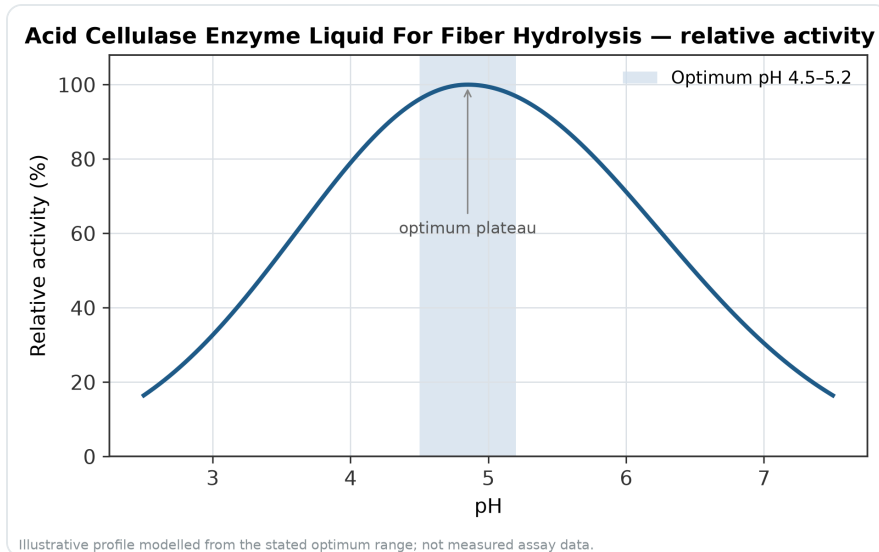


Figure 5. pH에 따른 섬유 가수분해용 산성 셀룰라아제 효소 액상의 상대 활성으로, pH 4.5-5.2에서 최적 활성 구간을 보입니다.

クラフト黒液やリグニン回収のような周辺工程でも、セルラーゼと他酵素の組み合わせが検討されています。アルカリ耐性キシラナーゼとセルラーゼを用いたクラフト黒液からの高純度リグニン抽出研究では、酵素処理がリグニン精製プロセスに関与することが報告されています^[14]。酸性セルラーゼそのものの適用範囲とは条件が異なる場合がありますが、紙パルプ領域でセルラーゼが「セルロースを完全分解する酵素」ではなく、繊維・リグニン・ヘミセルロースの分離や精製を支援する酵素として使われることを示す例です。

飼料、サイレージ、農産副産物

飼料やサイレージでは、セルラーゼは植物細胞壁をゆるめ、微生物発酵や栄養成分の利用性に影響します。トウモロコシわらを *Lactobacillus plantarum* とセルラーゼで処理した研究では、反芻胃発酵と微生物叢への影響が検討されており、セルラーゼが粗繊維原料の生物利用性に関わることが示されています^[15]。この用途では、セルロース分解により生成する可溶性糖が発酵微生物の基質となり、同時に細胞壁内に閉じ込められた成分のアクセス性が変化します。

サイレージ用途では、セルラーゼ単独ではなく、乳酸菌、キシラナーゼ、フェルラ酸エステラーゼなどとの組み合わせが検討されます。カジノキ属植物のサイレージ研究では、フェルラ酸エステラーゼ産生 *Lactiplantibacillus plantarum* とセルラーゼおよびキシラナーゼの組み合わせが、好気安定性、抗酸化性、微生物群集に関係することが報告されています^[16]。酸性セルラーゼは、飼料原料の細胞壁を酵素的に開く用途の一部として理解すると実務に合います。

用途別の効果と注意点の比較

用途領域	主な基質	酸性セルラーゼの役割	期待される工程上の変化	過剰反応で起こり得る問題
植物抽出・果実加工	果皮、果肉、搾りかす、植物細胞壁	セルロース骨格をゆるめ、目的成分の移動を助ける	抽出性、圧搾性、ろ過性、固液分離の改善	粘度変化、組織崩壊過多、風味・色調バランスの変化
綿・デニム加工	綿繊維、デニム表面の微細セルロース	毛羽や表面微細繊維を部分分解	手触り改善、ピリング低減、自然な色落ち	強度低下、過剰な色落ち、局所的ダメージ
バイオマス糖化	前処理済みバガス、わら、トウモロコシ残渣	セルロースをオリゴ糖・グルコースへ分解	発酵可能糖の生成、後段発酵の基質供給	高固形分での混合不良、リグニン吸着による効率低下
パルプ・古紙	パルプ繊維、古紙繊維	表面改質により脱墨・排水・叩解を補助	脱墨性、繊維柔軟性、処理負荷の改善	紙力低下、微細繊維の過剰生成
飼料・サイレージ	わら、茎葉、粗繊維原料	細胞壁を開き、発酵・消化利用を補助	可溶性糖の増加、微生物発酵の支援	原料による効果差、他酵素・微生物との相互作用

この比較から分かるように、酸性セルラーゼの機能は「セルロースを切る」という一点では共通していますが、工程目的は用途ごとに大きく異なります。植物抽出では成分移動、繊維加工では表面品質、糖化では糖生成、パルプでは繊維改質、飼料では細胞壁開放が主目的になります。セルラーゼとキシラナーゼの相乗作用が多用途で重要であることを考えると、セルロース以外の細胞壁成分が多い基質ほど、単独反応ではなく複合的な酵素作用として評価する必要があります^[6]。

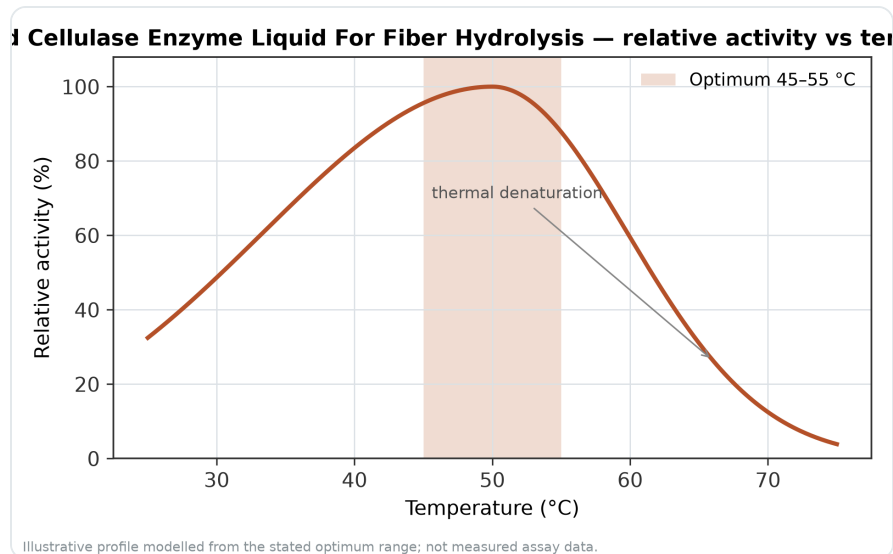


Figure 6. 온도에 따른 섬유 가수분해용 산성 셀룰라아제 효소 액상의 상대 활성으로, 45–55° C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열 변성에 따른 특징적인 활성 저하가 나타납니다.

反応結果を左右する基質側の要因

セルラーゼの性能は、酵素そのものだけで決まるわけではありません。セルロースの結晶性、繊維径、表面積、前処理の程度、リグニン含量、ヘミセルロース組成、固形分濃度、混合状態が反応速度と最終結果に影響します。結晶性セルロースは非晶性セルロースより酵素が侵入しにくく、リグニンはセルラーゼを非生産的に吸着することがあります。ナノセルロース合成で固体酸とセルラーゼを組み合わせた研究では、化学的処理と酵素処理の相乗的適用が検討されており、セルロース基質をどの程度開いてから酵素反応へ渡すかが重要であることを示しています^[17]。

高固形分処理では、酵素が均一に分散していても、実際には基質表面への接触が制限されることがあります。混合不足は局所的な過反応と未反応部分を同時に生み、糖化では収率低下、繊維加工ではムラ、抽出では固液分離の不安定化につながります。高固形分酵素加水分解に関する研究では、微結晶セルロースと前処理トウモロコシ芯で混合条件への応答が異なることが示されており、基質の物理構造がセルラーゼ反応の見かけの効率を左右することが分かります^[13]。

反応媒体も見逃せません。食品・植物抽出ではポリフェノール、有機酸、糖、塩類が共存し、バイオマス処理では前処理由来の化合物が残る場合があります。温度は一般に酵素反応を速める一方、タンパク質の構造安定性を低下させる可能性があります。大豆材料の炭水化物加水分解における温度影響を扱った研究では、酵素安定性と加水分解効率が温度条件に依存することが検討されています^[18]。酸性セルラーゼを工程に組み込む際は、反応を速くする条件と酵素を安定に保つ条件のバランスが重要です。

他酵素との組み合わせ：セルロースだけを見ない設計

植物細胞壁やリグノセルロースを扱う場合、セルラーゼだけで全体構造を十分に崩せるとは限りません。ヘミセルロースを切るキシラナーゼ、ペクチンを分解するペクチナーゼ、フェルラ酸架橋を外すエステラーゼ、場合によっては酸化的に多糖表面を開く酵素が、セルラーゼの作用範囲を広げます。セルラーゼとキシラナーゼの相乗性に関するレビューでは、両者の組み合わせがリグノセルロースの分解、動物飼料、紙パルプ、食品加工などで重要な役割を持つと整理されています^[6]。

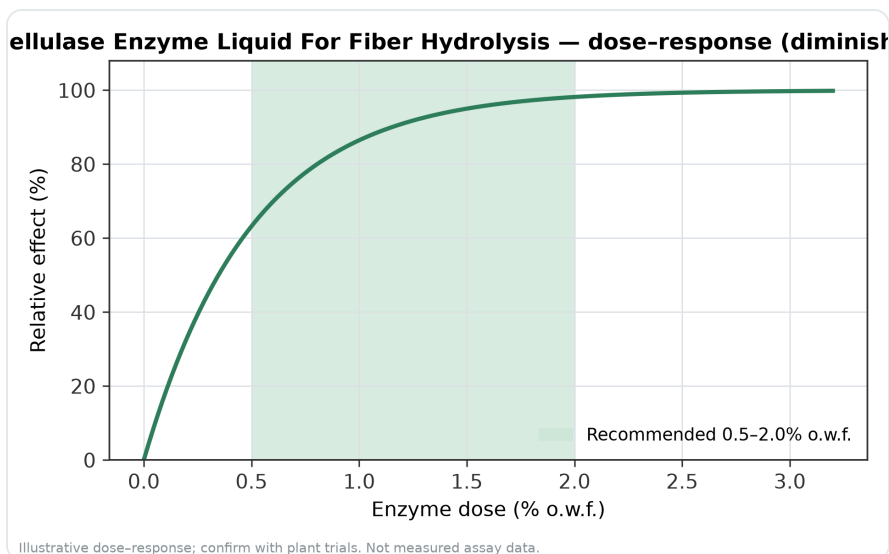


Figure 7. 권장 사용 범위(섬유 중량 대비 0.5-2.0%)에서 섬유 가수분해용 산성 셀룰라아제 효소 액상의 예시적인 용량-반응 관계를 보여줍니다.

ただし、組み合わせれば常に良いわけではありません。繊維加工では、強すぎる複合酵素処理が布地強度や寸法安定性に影響する可能性があります。植物抽出では、細胞壁を過度に壊すことで濁り、沈殿、粘度変化、望ましくない成分の溶出が増える場合があります。糖化では、セルラーゼ、キシラナーゼ、 β -グルコシダーゼのバランスが糖の蓄積パターンを変え、後段発酵の阻害や促進に関係することがあります。したがって、Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysisは「セルロース側の構造を開く中核酵素」として捉え、基質に含まれる他の多糖やリグニン構造に応じて工程全体を理解するのが適切です。

液状タイプの実務的な扱いやすさ

液状セルラーゼは、水系工程へ分散しやすいことが実務上の利点です。粉末酵素のような溶解工程を短縮しやすく、植物スラリー、繊維処理浴、パルプ懸濁液、前処理バイオマスの糖化液などに均一化しやすい形態です。もちろん、液状であること自体が反応効率を保証するわけではありません。重要なのは、セルラーゼが基質表面へ到達し、適切な時間だけ作用し、目的に応じて反応を止められる工程設計です。

液状酵素では、攪拌による分散、基質との接触、泡立ち、粘度上昇、固形分の沈降などが実務上の見え方に影響します。とくに高繊維原料では、反応初期に粘度が高く、セルロース分解が進むにつれて流動性が変わることがあります。高固形分基質の研究が示すように、基質ごとの混合応答は異なるため、液状酵素を添加しただけで均一反応になるとは限りません^[13]。

Enzymes.bioでの購入と文書提供

Enzymes.bioは酵素製品をオンラインで供給するサプライヤーであり、製造業者または受託研究機関として本文中の製造・分析・試験サービスを示すものではありません。Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysisはオンラインで1 kg単位にて直接購入でき、注文時にCoAおよびSDSが併せて提供されます。製品ページ上の情報は、用途理解と購入判断を支援するためのものであり、工程条件や最終製品性能は、原料、設備、処理目的、併用成分によって変わります。

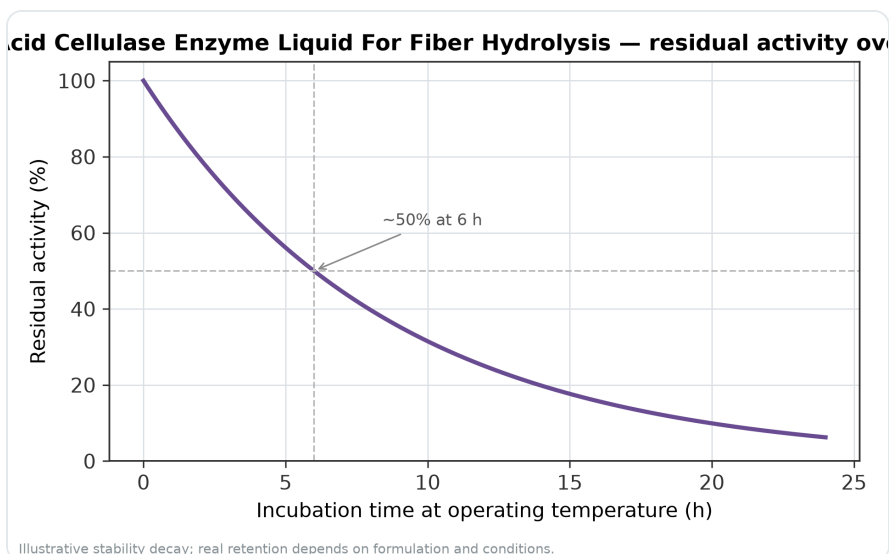


Figure 8. 섬유 가수분해용 산성 셀룰라아제 효소 액상의 예시적인 열 안정성 감소로, 작동 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소합니다.

セルラーゼ製品を選ぶ際には、酸性、中性、アルカリ性などの用途区分を、対象工程のpH領域や基質に合わせて理解することが重要です。Enzymes.bioのセルラーゼ関連ページでは、セルラーゼが食品、繊維、飼料、紙パルプ、バイオマス処理など幅広い領域で利用される酵素として整理されています。本製品はその中でも、酸性条件下でセルロース系繊維を加水分解・改質する用途に向けた液状セルラーゼとして位置づけられます。

まとめ：酸性セルラーゼは「繊維を壊す酵素」ではなく「繊維を制御して開く酵素」

Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysisは、セルロース中の β -1,4結合を酵素的に切断し、植物繊維やセルロース表面を目的に応じてゆるめるための酸性セルラーゼ液体酵素です。植物抽出では細胞壁を開いて成分移動を助け、綿・デニム加工では表面毛羽を減らし、前処理バイオマスでは糖化を進め、パルプ・古紙では繊維表面の改質を支援します。セルラーゼ技術の応用範囲は広く、近年のレビューでも食品、繊維、紙、飼料、バイオ燃料など複数産業での利用が整理されています^[1]。

最も重要なのは、セルラーゼ反応を「酵素を加えるだけの処理」と見なさないことです。基質の結晶性、リグニン・ヘミセルロースとの複合構造、混合状態、温度、pH、共存成分、他酵素との相乗性が、最終的な抽出性、糖化性、柔軟性、表面品質を左右します。Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysisは、酸性域の水系工程でセルロース繊維を制御して開くための実務的な酵素ツールとして、植物繊維加水分解、繊維表面改質、バイオマス処理、紙パルプ、飼料関連の工程に適用可能な選択肢です。

Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysis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。

[Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysis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. Budhraj, A. A., & Roy, R. (2024). ADVANCEMENTS IN CELLULASE ENZYME TECHNOLOGY: APPLICATIONS, CHALLENGES, AND FUTURE PERSPECTIVES. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*.
2. Al-Ezzi, M., Muhammad, K., Gannasin, S. P., & Shukri, R. (2025). Maximising pitaya (Hylocereus polyrhizus) peel pectin yield through cellulase-assisted extraction: A study on enzyme optimisation. *Bioresources and Environment*.

3. Fouda, A., Alshallash, K. S., Atta, H. M., Gamal, M. S. E., Bakry, M. M., Alawam, A. S., & Salem, S. (2023). Synthesis, Optimization, and Characterization of Cellulase Enzyme Obtained from Thermotolerant Bacillus subtilis F3: An Insight into Cotton Fabric Polishing Activity. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34, 207 - 223.
4. Indumathi, T., Jayaraj, R., Kumar, P., J. M. I. S., Krishnaswamy, V., Ghfar, A. A., & Govindaraju, S. (2021). Biological approach in deinking of waste paper using bacterial cellulase as an effective enzyme catalyst. *Chemosphere*, 287 Pt 2, 132088 .
5. Adab, F. K., Yaghoobi, M. M., & Gharechahi, J. (2024). Enhanced crystalline cellulose degradation by a novel metagenome-derived cellulase enzyme. *Scientific Reports*, 14.
6. Bajaj, P., & Mahajan, R. (2019). Cellulase and xylanase synergism in industrial biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 8711 - 8724.
7. Poblete, J., Aranda, M., & Quispe-Fuentes, I. (2025). Efficient Conditions of Enzyme-Assisted Extractions and Pressurized Liquids for Recovering Polyphenols with Antioxidant Capacity from Pisco Grape Pomace as a Sustainable Strategy. *Molecules*, 30.
8. Jain, L., Kurmi, A., & Agrawal, D. (2021). Conclusive selection of optimal parameters for cellulase production by Talaromyces verruculosus IIPC 324 under SSF via saccharification of acid-pretreated sugarcane bagasse. *Biofuels*, 12, 61 - 69.
9. Yadav, N., Chahar, D., Bisht, M., & Venkatesu, P. (2023). Assessing the compatibility of choline-based deep eutectic solvents for the structural stability and activity of cellulase: Enzyme sustain at high temperature. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125988 .
10. Fouda, A., Alshallash, K. S., Atta, H. M., El-Gamal, M., Bakry, M. M., Alghonaim, M., & Salem, S. (2023). A thermo-tolerant cellulase enzyme produced by Bacillus amyloliquefaciens M7, an insight into synthesis, optimization, characterization, and bio-polishing activity. *Green Processing and Synthesis*, 12.
11. Qin, T., Liu, L., Cao, H., Lu, B., Nie, S., Cheng, Z., Zhang, X., ... et al. (2023). Polydopamine modified cellulose nanocrystals (CNC) for efficient cellulase immobilization towards advanced bamboo fiber flexibility and tissue softness. *International Journal of Biological Macromolecules*, 126734 .
12. J., V. P., Sahoo, T. K., S., N., & Jayaraman, G. (2020). Evolutionary engineering of Lactobacillus bulgaricus reduces enzyme usage and enhances conversion of lignocellulosics to D-lactic acid by simultaneous saccharification and fermentation. *Biotechnology for Biofuels*, 13.
13. Xu, C., Zhu, Y., Wang, K., Jia, O., & Gu, X. (2025). Substrate-specific responses to mixing conditions in high-solids enzymatic hydrolysis: Insights from microcrystalline cellulose and dilute-acid pretreated corncob. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139431 .
14. Xie, Y., Ji, X., Tian, Z., Wang, Y., Mo, X., Zhang, F., & Zhou, J. (2025). Extraction of high-purity lignin from the kraft pulping black liquor by enzyme purification process with alkaline-resistant xylanase and cellulase. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139574 .
15. Wang, L., Wang, J., Wang, P., Liu, C., Li, X., Chang, J., Jin, S., ... et al. (2024). Effect of Corn Straw Treated with Lactobacillus plantarum and Cellulase on Ruminal Fermentation and Microbiota of Hu Sheep. *Fermentation*.

16. Long, Y., Li, M., Su, Y., Yu, Q., Rong, Y., Xi, Y., Sun, H., ... et al. (2025). Exploring the aerobic stability, antioxidant and microbial community of Broussonetia papyrifera ensiled with ferulic acid esterase-producing Lactiplantibacillus plantarum in combination with cellulase and/or xylanase. *BMC Microbiology*, 25.
17. Shu, D., Tan, C., Zhang, Y., Gan, L., Ruan, R., Dai, L., Wang, Y., ... et al. (2024). Nanocellulose synthesis via synergistic application of solid acid and cellulase. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139158 .
18. Kabir, M. F., & Ju, L. (2022). Temperature effects on enzyme stability for carbohydrate hydrolysis of soy materials. *Proceedings of 2022 AOCS Annual Meeting & Expo*.


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。