

Cellulase Enzyme For Bioethanol Production CAS 9012-54-8 | バイオエタノール生産向けセルラーゼ酵素

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

Cellulase Enzyme For Bioethanol Production CAS 9012-54-8 は、前処理されたセルロース系・リグノセルロース系バイオマスを、酵母などが利用できる発酵性糖へ変換するためのセルラーゼ酵素製品です。セルラーゼは単一酵素ではなく、エンドグルカナーゼ、エキソグルカナーゼ、 β -グルコシダーゼなどが連携してセルロースを段階的に加水分解する酵素群として機能します^[1]。

第二世代バイオエタノールでは、農業残渣、紙系廃棄物、バガス、海草廃棄物、藻類バイオマスなどの非可食系原料を糖化する工程が重要であり、セルラーゼはこの糖化工程の中心的な生物触媒です^[2]。Enzymes.bio は本製品を製造業者・研究所としてではなく供給業者として扱い、1 kg単位でオンライン直接販売しています。注文時には CoA および SDS が併せて提供されます。

バイオエタノール生産におけるセルラーゼの位置づけ

バイオエタノール生産向けセルラーゼは、セルロースをグルコース主体の発酵性糖へ変換するために用いられます。第一世代バイオエタノールが糖質・デンプン原料を中心にするのに対し、第二世代バイオエタノールではリグノセルロース系バイオマスを対象とするため、糖化前にセルロースを酵素がアクセスできる状態へ近づける必要があります^[3]。

リグノセルロース系原料は、セルロース、ヘミセルロース、リグニンが複合化した植物細胞壁構造を持ちます。セルロース自体はグルコースが β -1,4結合で直鎖状につながった多糖ですが、結晶性領域を含み、水に溶けにくく、酵素が届きにくい構造を形成します。したがって、セルラーゼは「未処理原料をそのまま糖にする万能酵素」ではなく、前処理、酵素糖化、発酵を含む工程全体の中で作用点を持つ触媒として理解する必要があります^[4]。

バイオエタノール工程では、セルラーゼが生成したグルコースや短鎖糖を、*Saccharomyces cerevisiae* などの発酵微生物がエタノールへ変換します。紙スラッジ廃棄物を高固形分条件で処理した研究では、産業酵母株とセルラーゼ産生能を持つ酵母株を用いたエタノール生産が検討されて

おり、糖化と発酵を近接させる工程設計が研究対象になっています^[5]。

セルラーゼ酵素群の作用機序

セルラーゼの作用は、セルロース鎖を一段階で完全にグルコースへ変える単純反応ではありません。一般に、エンドグルカナーゼがセルロース鎖内部を切断し、エキソグルカナーゼまたはセロビオヒドロラーゼが鎖末端からセルロビオースなどを遊離し、 β -グルコシダーゼがセルロビオースをグルコースへ分解する、という段階的な連携で進みます^[1]。

この連携が重要なのは、各酵素の役割が異なるためです。エンドグルカナーゼは新しい鎖末端を増やし、エキソ型酵素が連続的に作用できる場所を作ります。一方、 β -グルコシダーゼはセルロビオースをグルコースへ変換することで、発酵微生物が利用しやすい糖組成に近づけると同時に、セルロビオース蓄積による上流酵素の反応抑制を緩和する役割を持ちます^[6]。

セルラーゼ構成要素と工程上の意味

酵素機能	主な作用点	生成・増加しやすい成分	バイオエタノール工程での意味
エンドグルカナーゼ	セルロース鎖の内部領域	短鎖セルロース、反応可能な新規末端	結晶性・非晶性が混在するセルロースに切断点を増やし、後続酵素の作用機会を増やす
エキソグルカナーゼ ／セロビオヒドロラーゼ	セルロース鎖の末端	セルロビオースなど	セルロース鎖を末端から逐次分解し、可溶性糖へ近づける
β -グルコシダーゼ	セルロビオース、短鎖オリゴ糖	グルコース	酵母が利用しやすい糖を増やし、糖化液の発酵適性に関与する
補助的なヘミセルラーゼ群	ヘミセルロース画分	キシロース系糖、短鎖糖	セルロースへの物理的アクセスを改善し、セルラーゼ反応を支える場合がある

セルラーゼとキシラナーゼの相乗作用は、リグノセルロース糖化で特に重要です。ヘミセルロースがセルロース繊維表面を覆っている場合、キシラナーゼによるヘミセルロース分解がセルラーゼのアクセス性を改善し、全体の糖化を補助する可能性があります^[7]。

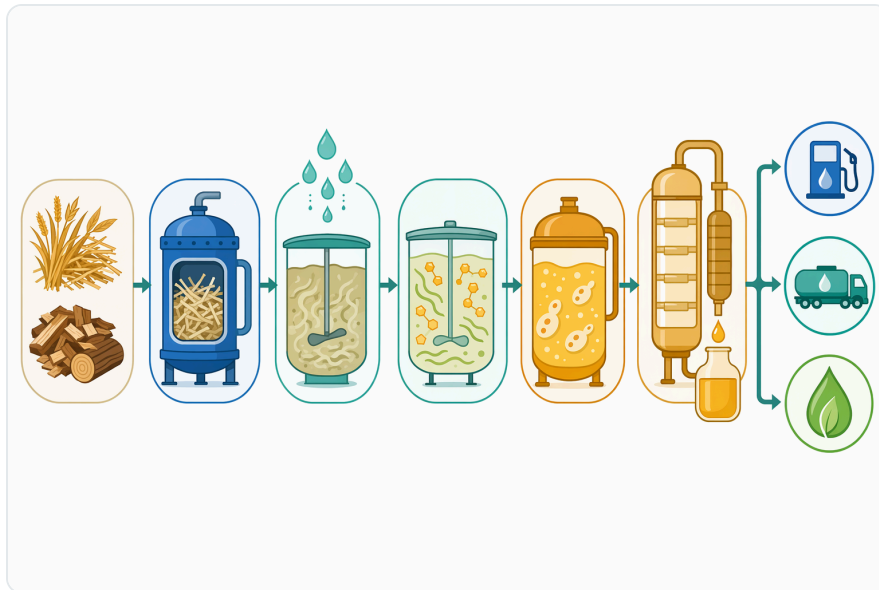


Figure 1. 셀룰라아제는 바이오매스 전처리와 발효 사이에서 작용하며, 접근 가능한 셀룰로오스를 발효 가능한 당으로 전환한다.

前処理がセルラーゼ反応を左右する理由

リグノセルロース原料では、セルロースがリグニンやヘミセルロースと複雑に絡み合っています。リグニンは酵素の物理的接近を妨げるだけでなく、酵素の非生産的吸着にも関与し得るため、同じセルラーゼを使用しても前処理条件によって糖化挙動は大きく変わります^[3]。

サトウキビバガスを対象とした研究では、前処理条件と酵素加水分解条件の最適化がバイオエタノール生産に関わる重要因子として扱われています。これは、セルラーゼの効果を引き出すには、単に酵素を添加するだけでなく、バイオマス構造を酵素反応に適した状態へ変える必要があることを示しています^[4]。

前処理の目的は、セルロース含量を増やすことだけではありません。リグニン構造の緩和、ヘミセルロース画分の部分除去、粒子構造の開放、表面積の増加、酵素が吸着・反応できる部位の増加が重要です。前処理が強すぎる場合は発酵阻害物質が生成することもあるため、糖化効率と発酵適性を同時に考える必要があります^[2]。

酵素糖化工程で起こること

酵素糖化工程では、前処理バイオマスを含むスラリーにセルラーゼを作用させ、固体中のセルロースを可溶性糖へ変換します。反応初期にはアクセスしやすい非晶性セルロースや表面領域が比較的速く分解され、その後、結晶性領域やリグニンに近い領域が残ります^[1]。

高固形分条件では、糖濃度を高められる一方で、混合、粘度、質量移動、酵素と基質の接触が課題になります。紙スラッジ廃棄物を用いた研究では、高固形分条件下でのエタノール生産が検討されており、工業的な糖化・発酵では固形分濃度と反応操作性の両立が重要であることが示されています^[5]。

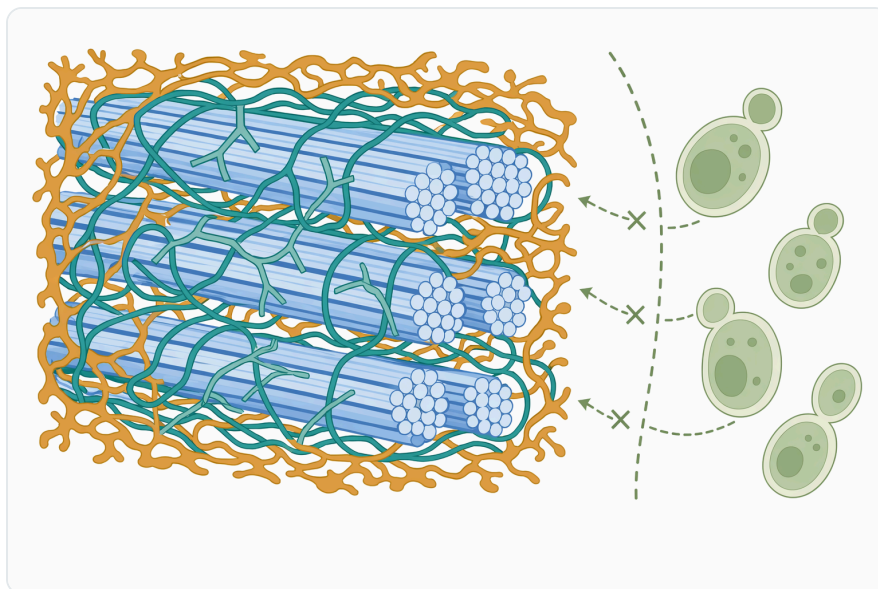


Figure 2. 셀룰로오스는 헤미셀룰로오스와 리그닌에 의해 보호되는 불용성 미세섬유 안에 포도당 단위가 갇혀 있어 직접 발효하기 어렵다.

糖化液中の糖組成は、発酵微生物の選択とエタノール収率に影響します。グルコースは一般的な酵母が利用しやすい糖ですが、ヘミセルロース由来のキシロースやアラビノースを含む場合は、糖利用性の異なる微生物や工程設計が必要になることがあります。第二世代バイオエタノールでは、糖化と糖輸送・発酵代謝の統合が重要課題として整理されています^[8]。

SHF、SSF、統合型プロセスでの使われ方

セルラーゼの使い方は、糖化と発酵をどのように組み合わせるかによって変わります。代表的には、糖化と発酵を別工程で行う SHF、同一反応系を進める SSF、さらに微生物による酵素生産・糖化・発酵を統合する方向性があります^[9]。

工程方式	概要	セルラーゼの役割	主な利点	主な制約
SHF：分離糖化・発酵	酵素糖化後、糖液を発酵へ送る	糖化専用工程でセルロースを発酵性糖へ変換	糖化条件と発酵条件を個別に調整しやすい	工程数が増え、糖蓄積による反応抑制を考慮する必要がある
SSF：同時糖化発酵	セルラーゼ反応と酵母発酵を同じ系	生成糖を発酵微生物が逐次消費できるよ	糖蓄積を抑えやすく、工程統合の可	酵素と微生物の最適条件が一致しない場合が

工程方式	概要	セルラーゼの役割	主な利点	主な制約
	で進める	う糖を供給	能性がある	ある
統合型・CBP志向	酵素生産、糖化、発酵をより一体化	外部酵素または酵素生産微生物との組み合わせで糖化を担う	工程簡素化の可能性	微生物設計、糖利用率、阻害耐性などの課題が大きい

SSF では、生成したグルコースを酵母が消費することで、糖化反応の生成物阻害を抑えられる可能性があります。ただし、セルラーゼが働きやすい条件と酵母が増殖・発酵しやすい条件は必ずしも同一ではないため、温度、pH、固形分、阻害物質耐性の折り合いが工程性能を左右します^[2]。

CBP に近い統合型プロセスでは、セルラーゼを外部から供給する考え方に加え、セルラーゼ産生微生物や改変酵母を利用する研究も行われています。紙スラッジを対象とした研究では、産業酵母株とセルラーゼ産生性を持つ *Saccharomyces cerevisiae* 系統の利用が検討され、酵素糖化と発酵能力の統合が実用課題として扱われています^[5]。

原料別に見たセルラーゼ利用の実務的意味

サトウキビバガス

サトウキビバガスは、糖業由来の代表的なリグノセルロース残渣です。セルロースとヘミセルロースを含む一方で、リグニン構造が酵素糖化を妨げるため、前処理とセルラーゼ加水分解の組み合わせが重要になります。サトウキビバガスを用いた研究では、前処理条件と酵素加水分解条件の調整がバイオエタノール生産に直結する要素として検討されています^[4]。

Bacillus sp. YE16 を用いた研究では、前処理済みサトウキビバガスへの応用を念頭にセルラーゼ生産条件が統計的に最適化されています。このような研究は、バガスの糖化では酵素そのものだけでなく、酵素生産、基質前処理、糖化条件が一体で評価されることを示しています^[10]。

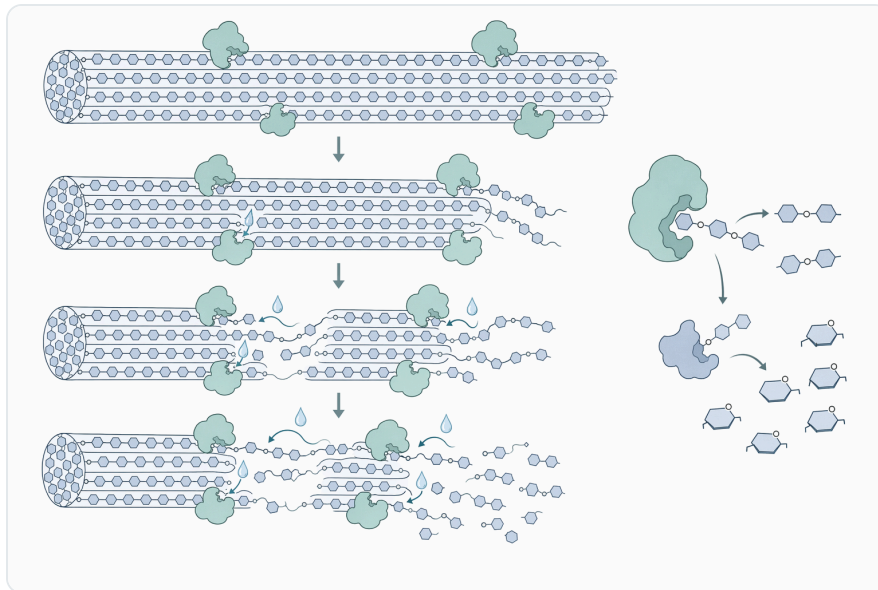


Figure 3. 엔도글루카나아제, 셀로비오하이드롤라아제, β -글루코시다아제가 순차적으로 작용해 셀룰로오스 사슬을 셀로비오스와 포도당으로 전환한다.

紙スラッジ・段ボール廃棄物

紙スラッジや段ボール廃棄物は、既に繊維処理を受けているため、木質バイオマスとは異なる糖化挙動を示す場合があります。紙スラッジ廃棄物の高固形分エタノール生産研究では、セルラーゼ関連の糖化能力と発酵株の組み合わせが検討され、廃棄物系セルロース資源の再利用可能性が示されています^[5]。

段ボール廃棄物を基質に *Penicillium occitanis* Pol6 がセルラーゼとキシラナーゼを同時生産する研究も報告されています。紙系廃棄物にはセルロースだけでなくヘミセルロースや添加物由来成分も含まれるため、セルラーゼ単独ではなく、キシラナーゼを含む酵素系の相乗作用が糖化効率に関与します^[11]。

ブルーアガベバガス・農業副産物

ブルーアガベバガスのような農業・食品加工副産物では、セルロース、ヘミセルロース、リグニンの構成が原料ごとに異なります。前処理済みブルーアガベバガスを対象とした研究では、市販セルラーゼカクテルにキシラナーゼを追加することで持続的糖化を高める方向が検討されており、補助酵素の組み合わせが重要であることが示されています^[12]。

この知見は、セルラーゼを「単一の投入剤」として見るのではなく、原料の構造に応じてセルロース分解、ヘミセルロース分解、リグニン影響の緩和を組み合わせる考え方につながります。特に農業副産物では、収穫時期、乾燥状態、保管履歴によって原料反応性が変わるため、糖化工程の解釈には原料側の変動を含める必要があります^[9]。

海草廃棄物・藻類バイオマス

海草廃棄物や藻類バイオマスは、陸上リグノセルロースとは組成が異なるため、セルラーゼの役割も原料特性に合わせて考える必要があります。海草廃棄物を用いた研究では、海洋放線菌由来セルラーゼを利用した発酵プロセスによるバイオエタノール生産が報告されており、海洋系バイオマスにもセルロース分解酵素が関与し得ることが示されています^[13]。

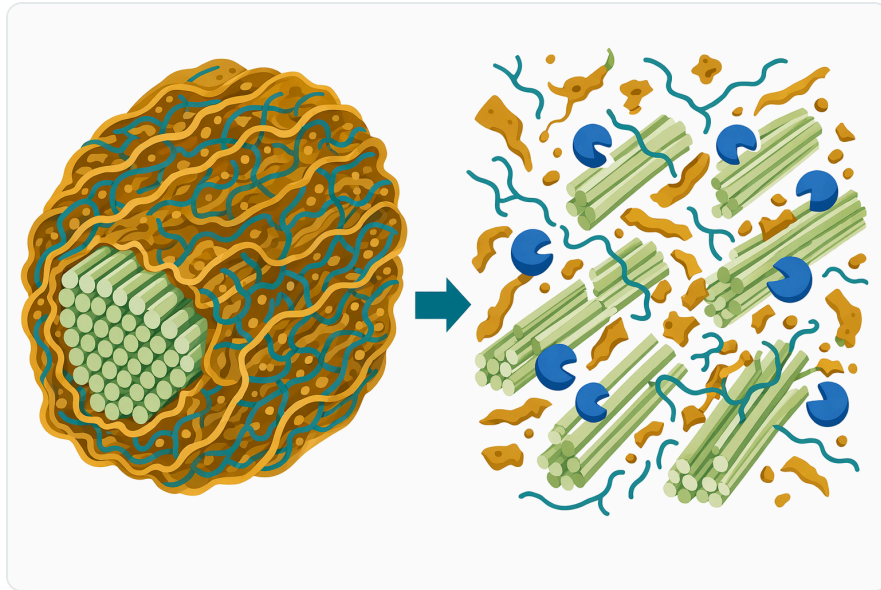


Figure 4. 전처리는 리그노셀룰로오스 매트릭스를 열어 더 많은 셀룰로오스 표면을 셀룰라아제에 노출시킴으로써 당화를 향상시킨다.

微細藻類バイオマスでも、細胞壁や細胞外高分子成分の処理が糖化効率に影響します。バイオフィロック化した微細藻類の酵素加水分解を最適化する研究では、藻類由来バイオマスをバイオエタノールへつなげるために、前処理と酵素加水分解条件の調整が検討されています^[14]。

セルラーゼとキシラナーゼの相乗作用

実際のリグノセルロース原料では、セルロースだけが独立して存在しているわけではありません。ヘミセルロース、とくにキシラン系多糖がセルロース繊維の周囲に存在する場合、キシラナーゼの作用によってセルロース表面が開放され、セルラーゼがアクセスしやすくなる場合があります^[7]。

この相乗作用は、商業的な糖化工程で重要な設計概念です。ブルーアガベバガス研究では、市販セルラーゼカクテルにキシラナーゼを加える方向が検討され、セルロース分解酵素とヘミセルロース分解酵素の組み合わせが糖化性能に影響することが示されています^[12]。

ただし、補助酵素の追加が常に同じ効果をもたらすわけではありません。原料中のヘミセルロース量、前処理でどの程度除去されているか、リグニン再配置の有無、固形分濃度、反応時間によって、セルラーゼとキシラナーゼの相対的な寄与は変化します^[2]。

酵素性能を左右する工程因子

セルラーゼ反応を理解するうえで重要なのは、酵素製品だけを切り離して評価しないことです。糖化効率、基質の結晶性、粒子径、前処理履歴、リグニン残存量、ヘミセルロース構成、固形分濃度、混合状態、生成糖濃度、反応時間などの影響を受けます^[3]。

高固形分化は、後段の発酵液中エタノール濃度を高めやすい一方で、スラリー粘度の上昇により酵素と基質の接触が制限されることがあります。紙スラッジの高固形分研究のように、実用に近い条件では、酵素添加量だけでなく、混合性と発酵株の糖利用性が同時に検討されます^[5]。



Figure 5. 일반적인 전처리 방법들은 셀룰라아제가 셀룰로오스에 접근하도록 돕는 방식과 그 과정에서 발생하는 공정상 장단점이 서로 다르다.

また、セルラーゼ反応では生成物の蓄積も問題になります。セルロビオースやグルコースが高濃度で蓄積すると、酵素反応の進行や発酵微生物の挙動に影響する場合があります。そのため、 β -グルコシダーゼ活性のバランス、糖化と発酵の統合、生成糖の逐次消費が工程上の論点になります^[6]。

酸加水分解との比較で見た酵素糖化の特徴

セルロースを糖へ変換する方法には、化学的加水分解と酵素加水分解があります。酸加水分解は反応速度や装置設計の面で利点を持つ場合がありますが、過酷条件では糖分解副生成物、設備負荷、発酵阻害物質の生成が問題になることがあります。一方、セルラーゼによる酵素糖化は比較的穏や

かな条件で進むため、発酵工程との接続性が高い方法として扱われます^[2]。

観点	酵素糖化：セルラーゼ	化学的加水分解
主な反応主体	生物触媒によるセルロース加水分解	酸・熱などによる化学分解
反応選択性	セルロース結合に対して比較的選択的	条件によって糖分解や副反応が起こりやすい
発酵工程との関係	糖化液を発酵へ接続しやすい設計が可能	中和、阻害物質対策、後処理が論点になりやすい
工程上の制約	酵素アクセス性、反応時間、生成物阻害、コスト	腐食、薬剤処理、副生成物、エネルギー負荷
適した考え方	前処理と組み合わせて穏やかに糖化	反応速度や分解度を重視する場合に検討される

酵素糖化の利点は、単に「穏やか」であることではなく、発酵微生物が利用しやすい糖液を得る工程として設計しやすい点にあります。第二世代バイオエタノールのレビューでは、前処理、酵素加水分解、発酵、分離を統合的に最適化する必要性が繰り返し指摘されています^[9]。

酸化酵素・改変セルラーゼとの関係

セルロース分解では、従来型セルラーゼに加えて、酸化的に多糖分解を助ける酵素や、耐熱性・耐阻害性・基質親和性を改善した改変酵素の研究も進んでいます。セルラーゼと酸化酵素に関するレビューでは、セルロース分解を促進する新しいアプローチ、課題、バイオエタノール生産への展望が整理されています^[1]。

また、バイオエタノール生産向けの「オールラウンド」セルラーゼを工学的に設計する研究では、酵素安定性、基質適応性、複合基質への対応などが重要な改良対象として扱われています。これは、将来的な商業プロセスでは、単にセルロースを分解できるだけでなく、前処理由来阻害物質や多様な原料に耐える酵素特性が求められることを示します^[6]。

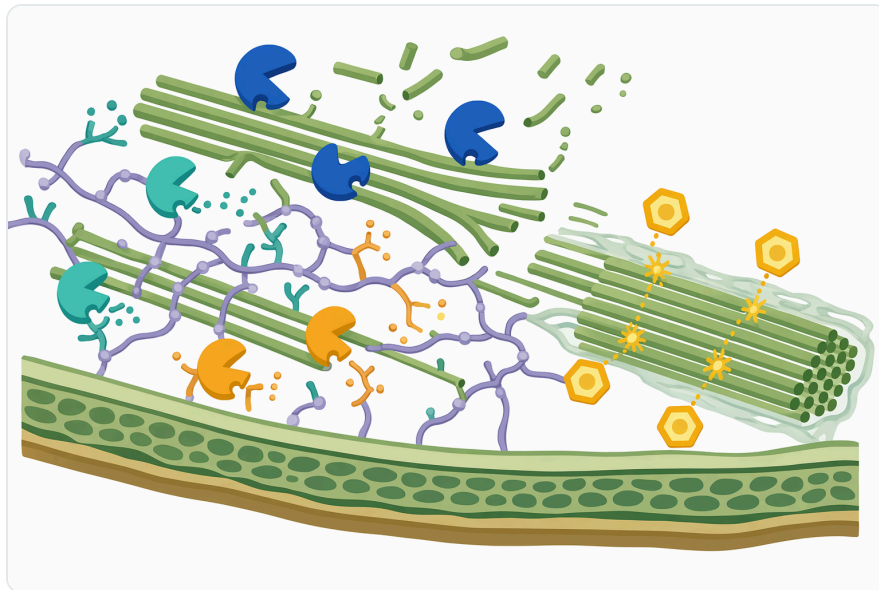


Figure 6. 보조 효소는 헤미셀룰로오스 네트워크를 느슨하게 하고 분해가 어려운 셀룰로오스 영역을 극복하는 데 도움을 주어 셀룰라아제의 효과를 높일 수 있다.

ただし、これらの研究はセルラーゼ技術の方向性を示すものであり、個別の市販製品がすべて同じ改変特性を持つことを意味するものではありません。実際の工程では、原料の構成、前処理条件、反応設計、発酵株との整合によって結果が変わります^[2]。

セルラーゼ生産研究から見える産業的背景

セルラーゼは、真菌、細菌、放線菌など多様な微生物によって生産されます。Bacillus 属を用いた研究では、培養条件を最適化してセルラーゼ生産を改善する試みが報告されており、細菌由来セルラーゼが産業用途の候補として継続的に研究されています^[15]。

近年の研究では、耐熱性セルラーゼ産生菌の探索も進んでいます。堆肥化サイトから耐熱性セルラーゼ産生細菌を分離・評価した研究は、温度変動がある産業条件に適した酵素探索の一例です^[16]。

固体発酵や半回分プロセスによるセルラーゼ生産の経済性評価も報告されています。これは、バイオエタノール用途でセルラーゼが重要である一方、酵素供給コストがプロセス経済性に影響するため、酵素生産そのものの効率化が研究課題になっていることを示します^[17]。

バイオエタノール工程での実務的な利点

セルラーゼを用いる最大の利点は、非可食系セルロース資源を発酵性糖へ変換できる点です。農業残渣や紙系廃棄物のような低価値または廃棄対象の材料を糖化原料として利用できれば、資源循環と再生可能燃料生産の両面で意義があります^[3]。

第二の利点は、発酵工程との親和性です。セルラーゼ糖化で得られるグルコースは、多くの酵母にとって主要な発酵基質です。糖化液の組成が発酵微生物に適していれば、糖化からエタノール生成までの工程を比較的連続的に設計できます^[8]。



Figure 7. 셀룰라아제가 지원하는 당화는 짚, 목초, 농업 부산물, 침입성 바이오매스, 과일 또는 채소 착즙박과 같은 잔류물에 적용될 수 있다.

第三の利点は、原料多様性に対応しやすいことです。サトウキビバガス、紙スラッジ、段ボール廃棄物、ブルーアガベバガス、海草廃棄物、微細藻類など、セルロースまたは関連多糖を含む原料で酵素加水分解の研究が進んでいます^[14]。

ただし、原料多様性は同時に工程変動の要因でもあります。セルラーゼはセルロースに作用しますが、原料全体の反応性はリグニン、ヘミセルロース、灰分、抽出成分、保管劣化、前処理副生成物に影響されます。そのため、バイオエタノール用途では、セルラーゼを「糖化反応の中核」として位置づけつつ、全体工程の制約を併せて考えることが重要です^[9]。

Cellulase Enzyme For Bioethanol Production CAS 9012-54-8 の適用イメージ

本製品は、前処理済みセルロース系バイオマスの酵素糖化、第二世代バイオエタノール開発、リグノセルロース糖化検討、農業副産物や紙系廃棄物の価値化プロセスなどで、セルラーゼ反応を組み込む用途に適しています。CAS 9012-54-8 はセルラーゼとして広く識別される番号であり、バイオマス変換に関わる酵素製品を特定する際の実務的な参照情報になります^[1]。

想定される工程上の位置づけは、前処理後の糖化段階です。原料を機械的・熱的・化学的または生物学的に前処理した後、セルロースへの酵素アクセス性を高めた状態でセルラーゼを作用させます。得られた糖化液は、工程設計に応じて発酵へ送られ、エタノール生成に利用されます^[4]。

一方で、セルラーゼはリグニン除去、ヘミセルロース完全分解、発酵阻害物質除去、酵母の糖利用率改善を単独で担うものではありません。必要に応じて、キシラナーゼなどの補助酵素、適切な前処理、阻害物質対策、発酵株選定と組み合わせて、工程全体の中で最適化されます^[7]。

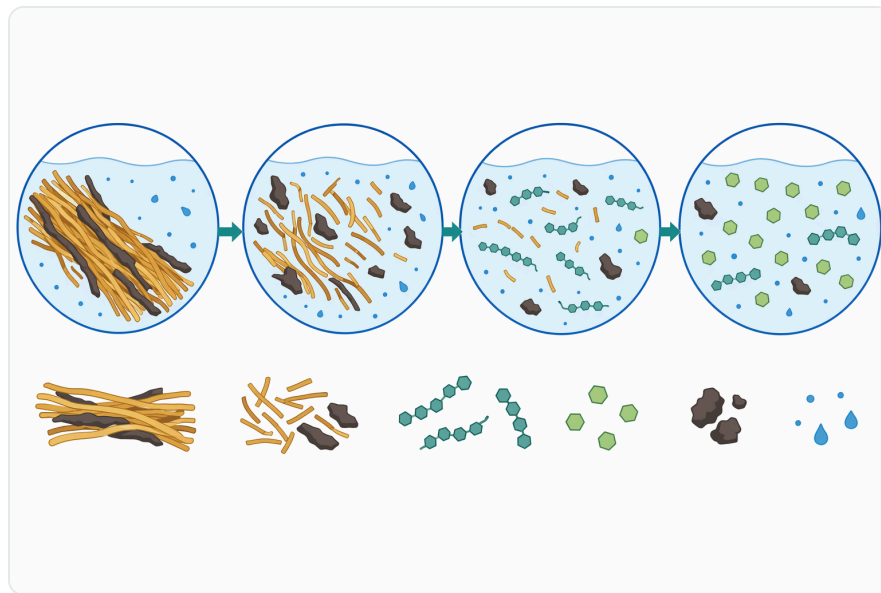


Figure 8. 셀룰라아제 가수분해 동안 탄수화물은 불용성 섬유에서 액상 내의 수용성 올리고당, 셀로비오스, 포도당으로 이동한다.

Enzymes.bio での供給形態

Enzymes.bio は、Cellulase Enzyme For Bioethanol Production CAS 9012-54-8 を酵素供給業者として取り扱っています。Enzymes.bio は製造業者または研究所ではないため、本記事では製造工程、個別ロットの分析法、活性単位定義、製造由来の詳細仕様ではなく、バイオエタノール生産におけるセルラーゼの機能と工程上の意味を中心に説明しています。

本製品は 1 kg単位でオンライン直接購入できます。注文時には、製品に関連する CoA および SDS が併せて提供され、受領後の社内記録、安全管理、保管・取扱い確認に利用できます。

まとめ：セルラーゼは第二世代バイオエタノール糖化の中核酵素

Cellulase Enzyme For Bioethanol Production CAS 9012-54-8 は、セルロース系バイオマスを発酵性糖へ変換するための酵素製品です。エンドグルカナーゼ、エキソグルカナーゼ、 β -グルコシダーゼが連携し、セルロース鎖を短鎖糖からグルコースへ段階的に加水分解することで、酵母発酵へ接

続可能な糖化液の形成を支えます^[1]。

研究文献では、サトウキビバガス、紙スラッジ、段ボール廃棄物、ブルーアガベバガス、海草廃棄物、藻類バイオマスなど、多様な原料で酵素糖化とバイオエタノール生産が検討されています。これらの研究は、セルラーゼが第二世代バイオエタノールにおいて中心的な役割を持つ一方、実際の成果は前処理、原料組成、酵素アクセス性、補助酵素、発酵微生物、工程統合に依存することを示しています^[9]。

Enzymes.bio が供給する本製品は、リグノセルロース糖化、バイオエタノール生産、農業副産物・紙系廃棄物の価値化、再生可能資源利用を検討する企業や開発部門にとって、セルロース分解工程を構成する実用的な酵素選択肢です。オンラインで1 kg単位から直接購入でき、注文時には CoA および SDS が提供されます。

Cellulase Enzyme For Bioethanol Production Cas 9012-54-8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。

[Cellulase Enzyme For Bioethanol Production Cas 9012-54-8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. Barbosa, F. C., Silvello, M., & Goldbeck, R. (2020). Cellulase and oxidative enzymes: new approaches, challenges and perspectives on cellulose degradation for bioethanol production. *Biotechnology Letters*, 42, 875 - 884.
2. Novia, N., Melwita, E., Jannah, A., Selpiana, S., Yandriani, Y., Afrah, B. D., & Rendana, M. (2025). Current advances in bioethanol synthesis from lignocellulosic biomass: sustainable methods, technological developments, and challenges. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*.
3. Afedzi, A. E. K., Afrakomah, G. S., Gyan, K., Khan, J., Seidu, R., Baidoo, T., Sultan, I. N., ... et al. (2025). Enhancing Economic and Environmental Sustainability in Lignocellulosic Bioethanol Production: Key Factors, Innovative Technologies, Policy Frameworks, and Social Considerations. *Sustainability*.

4. Ruan, L., Wu, H., Wu, S., Zhou, L., Wu, S., & Shang, C. (2024). Optimizing the Conditions of Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Sugarcane Bagasse for Bioethanol Production. *ACS Omega*, 9, 29566 - 29575.
5. Dyk, J., Görgens, J., & Rensburg, E. (2023). Enhanced ethanol production from paper sludge waste under high-solids conditions with industrial and cellulase-producing strains of *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioresource Technology*, 130163 .
6. Wang, M., Cui, H., Gu, C., Li, A., Qiao, J., Schwaneberg, U., Zhang, L., ... et al. (2023). Engineering All-Round Cellulase for Bioethanol Production. *ACS Synthetic Biology*.
7. Bajaj, P., & Mahajan, R. (2019). Cellulase and xylanase synergism in industrial biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 8711 - 8724.
8. Pereira, L. M. S., Taveira, I. C., Maués, D. B., Paula, R. G., & Silva, R. N. (2025). Advances in fungal sugar transporters: unlocking the potential of second-generation bioethanol production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 109.
9. Prasanthan, A., Prasad, R. K., & Balu, M. (2024). Recent advancements and challenges in the lignocellulosic and algal biomass-based bioethanol production: a review. *Biofuels*, 16, 499 - 518.
10. Chettri, D., & Verma, A. (2024). Statistical optimization of cellulase production from *Bacillus* sp. YE16 isolated from yak dung of the Sikkim Himalayas for its application in bioethanol production using pretreated sugarcane bagasse. *Microbiology Research*, 281, 127623 .
11. Kallel, F., Chaabouni, S. E., & Neifar, M. (2025). Simultaneous production of cellulase and xylanase by *Penicillium occitanis* Pol6 and potential application in bioethanol production using cardboard waste as a sustainable substrate. *Chemické zvesti*, 79, 4795 - 4805.
12. Montiel, C., Hernández - Meléndez, O., Marques, S., Gírio, F., Tavares, J., Ontañon, O., Campos, E., ... et al. (2024). Application of In-House Xylanases as an Addition to a Commercial Cellulase Cocktail for the Sustainable Saccharification of Pretreated Blue Agave Bagasse Used for Bioethanol Production. *Sustainability*.
13. Rajkumar, J., Dilipan, E., Ramachandran, M., Panneerselvam, A., & Thajuddin, N. (2021). Bioethanol production from seagrass waste, through fermentation process using cellulase enzyme isolated from marine actinobacteria. *Vegetos- An International Journal of Plant Research*, 34, 581 - 591.
14. Simon, V., Freitag, J., Silva, J. L., & Colla, L. (2025). Optimizing the Enzymatic Hydrolysis of Biofloculated Microalgae for Bioethanol Production. *Processes*.
15. Islam, M., Sarkar, P. K., Mohiuddin, A., & Suzauddula, M. (2019). Optimization of fermentation condition for cellulase enzyme production from *Bacillus* sp. *Malaysian Journal of Halal Research*, 2, 19 - 24.
16. Chandrarathna, U. A. A. N. (2024). Isolation and characterization of thermo-stable cellulase enzyme producing bacteria from a compost production site. *The 24th International Postgraduate Research Conference*.
17. Taiwo, A., Tom-James, A., & Musonge, P. (2023). Economic assessment of cellulase production in batch and semi-batch solid state fermentation processes. *International Journal of Low-Carbon Technologies*.


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。