

# Xylanase（キシラナーゼ） — 飼料・製パン・パルプ漂白・バイオマス糖化に使われるキシラン分解酵素

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

Xylanase（キシラナーゼ）は、植物細胞壁のヘミセルロースであるキシラン、特に穀物や農業残渣に多いアラビノキシランの $\beta$ -1,4結合を加水分解する酵素です。飼料、製パン、パルプ・紙、果汁・醸造、バイオマス糖化では、粘度低下、繊維構造の緩和、ろ過性改善、漂白前処理、キシロオリゴ糖生成などの目的で利用されます<sup>[1]</sup>。Enzymes.bioはXylanaseの供給業者であり、製品は1kg単位でオンラインから直接購入でき、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

## Xylanaseとは何か：キシランを標的にするヘミセルラーゼ

Xylanaseは、キシロース単位が $\beta$ -1,4結合で連なったキシラン主鎖を切断する酵素群の総称です。植物細胞壁では、キシランはセルロース、リグニン、ペクチン、タンパク質、フェノール性架橋などと複合化しており、単純な水溶性多糖としてではなく、細胞壁の強度、保水性、粘度、他酵素へのアクセス性を左右する構造要素として存在します<sup>[1]</sup>。

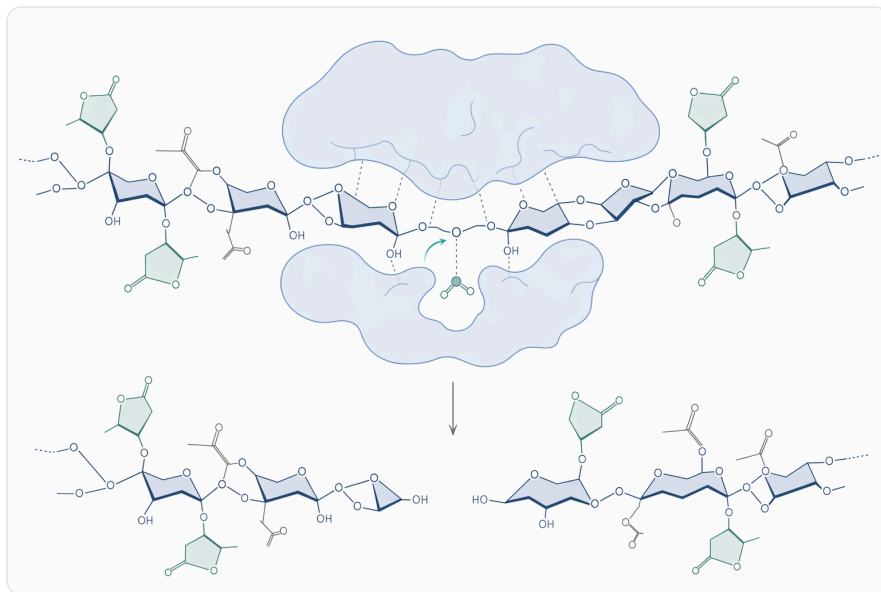
穀物では、キシラン主鎖にアラビノース側鎖を持つアラビノキシランが重要です。小麦、ライ麦、大麦、トウモロコシ副産物などでは、アラビノキシランが水を抱え込み、スラリーや腸内容物の粘度を上げ、栄養素や加工水の移動を妨げることがあります。飼料分野の研究では、小麦・大豆系ブロイラー飼料において、可溶性非デンプン性多糖の量がXylanaseの反応性や生産成績に関係することが示されています<sup>[2]</sup>。

検索語としての「xylanase」は英語文献・製品情報で広く使われますが、中国語圏では「木聚糖酶」と表記されることがあります。そのため、国際調達や技術情報の検索では「xylanase中文」という語で、中国語表記、用途説明、規制文書の訳語を確認するケースもあります。ただし、本稿では日本語の技術文書として、Xylanaseを「キシラン分解酵素」または「キシラナーゼ」として扱います<sup>[1]</sup>。

## 作用機序：長鎖アラビノキシランを短くして物性を変える

Xylanaseの中心的な反応は、キシラン主鎖内部の $\beta$ -1,4-キシロシド結合の加水分解です。多くの産業用途で重要なのは、キシランを完全に単糖へ分解することではなく、長鎖のアラビノキシランを短いキシロオリゴ糖や低分子断片へ変えることです。この鎖長低下により、溶液粘度、保水、粒子表面の被覆、細胞壁の硬さ、酵素アクセス性が変化します<sup>[3]</sup>。

キシラン分解は一種類の酵素だけで完結しない場合があります。エンド型Xylanaseは主鎖内部を切断しますが、側鎖や末端構造はアラビノフラノシダーゼ、 $\beta$ -キシロシダーゼ、アセチルキシランエステラーゼ、フェルラ酸エステラーゼなどの補助酵素の影響を受けます。工業的な酵素カクテルでは、セルラーゼとXylanaseの相乗作用が重視され、ヘミセルロース除去によってセルロースへのアクセスが改善されることが報告されています<sup>[4]</sup>。



**Figure 1.** 자일라네이스는 자일란 주쇄의 내부  $\beta$ -1,4 결합을 가수분해하여 더 짧은 자일로올리고당과 수용성 헤미셀룰로오스 조각을 형성한다.

タンパク質ファミリーとしては、GH10、GH11などのグリコシドヒドロラーゼファミリーに属するXylanaseがよく研究されています。GH11 Xylanaseは比較的小型でキシラン主鎖への選択性が高いものが多く、GH10 Xylanaseは置換基を持つ基質への許容性が広い場合があります。構造・機能解析の研究では、活性部位の形状、基質結合溝、酸塩基触媒残基、タンパク質表面電荷が、pH適性や基質認識に関係することが議論されています<sup>[5]</sup>。

## 主要用途を機序から見る

### 飼料：非デンプン性多糖の粘度と栄養利用を制御する

飼料用途では、Xylanaseは小麦、ライ麦、大麦、トウモロコシ副産物などに含まれるアラビノキシランを標的にします。可溶性アラビノキシランは消化管内容物の粘度を高め、消化酵素と栄養素の接触、胆汁酸の拡散、吸収面への移動を妨げることがあります。Xylanaseが主鎖を部分分解すると、粘度が下がり、栄養素の利用性や飼料効率に影響し得ます<sup>[2]</sup>。

反芻動物では、Xylanaseを含む外因性酵素製剤が乳牛の飼料利用や生産性に影響する可能性が研究されています。乳牛を対象にした報告では、Xylanaseリッチな酵素調製物の利用により、繊維性飼料の消化、乾物摂取、乳生産に関連する指標が検討されました。ここでの作用は、ルーメン内で繊維表面を改変し、微生物分解を助けることに関係します<sup>[6]</sup>。

サイレージ分野でも、Xylanaseはセルラーゼや乳酸菌と組み合わせて評価されています。トウモロコシ茎葉サイレージの研究では、Lactobacillus plantarum、セルラーゼ、Xylanaseが栄養品質と微生物群集構造に与える影響が調べられており、植物細胞壁多糖の分解が発酵基質の利用性や保存発酵の進行に関係することが示されています<sup>[7]</sup>。

飼料分野で重要なのは、Xylanaseを単なる「繊維分解剤」と見なさないことです。アラビノキシランの部分分解により、短いキシロオリゴ糖が生成され、腸内細菌の発酵基質になる可能性があります。このため、近年の飼料研究では、粘度低下だけでなく、腸内微生物叢、短鎖脂肪酸、栄養利用の連動が注目されています<sup>[2]</sup>。

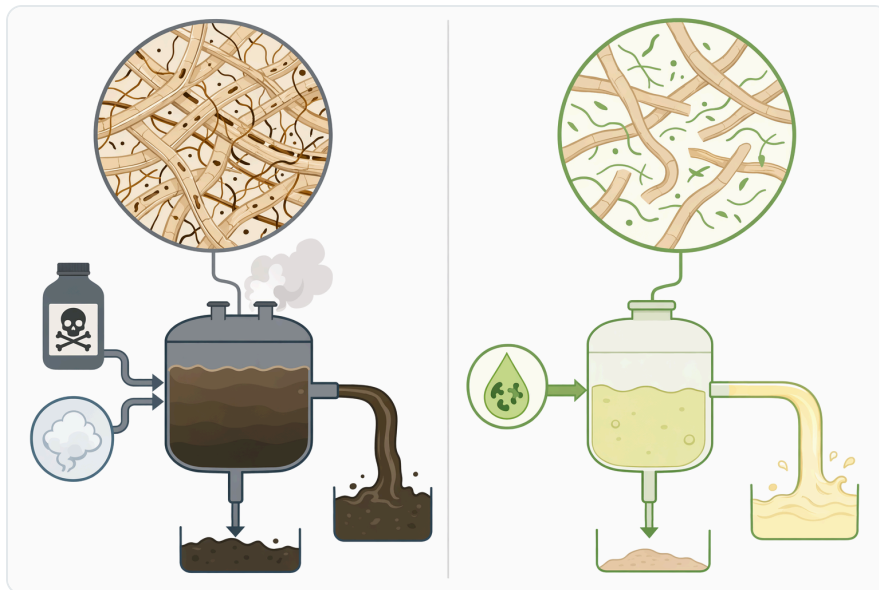


Figure 2. GH10 자일라네이스는 일반적으로 치환된 자일란에 작용할 수 있는 더 넓은 활성 부위 홈을 가지는 반면, GH11 자일라네이스는 대개 더 작은 효소로 접근 가능한 자일란 주쇄에 효율적으로 작용한다.

## 製パン：水分分布、グルテン形成、クラム構造を調整する

製パンでは、小麦粉中のアラビノキシランが水を保持し、生地粘弾性、ガス保持、機械加工性に影響します。不溶性アラビノキシランが過度に残ると、グルテンネットワークの連続性を妨げ、硬いクラムや低いボリュームにつながる場合があります。一方で、過度に分解しすぎると、生地がべたつき、ガス保持性が低下する可能性があります<sup>[1]</sup>。

Xylanaseはアラビノキシランを部分的に切断し、結合水を再分配させ、生地中の水の移動性を変えます。その結果、混捏時の伸展性、発酵中のガス膨張、焼成後のクラムの開きに影響します。特に全粒粉、高食物繊維配合、ライ麦やふすまを含む製品では、アラビノキシラン量が多いため、Xylanaseの効果が処方設計に強く依存します<sup>[1]</sup>。

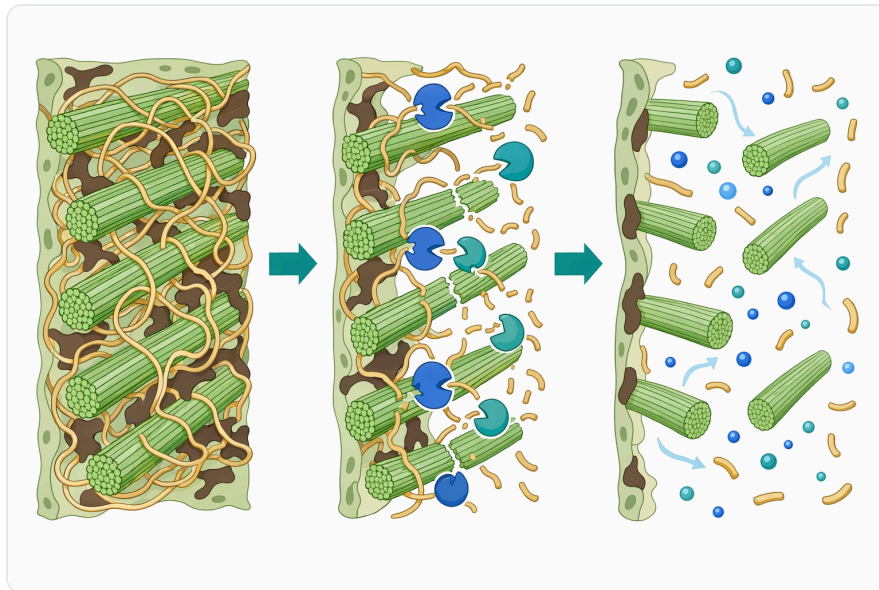
製パンでのXylanase利用は、アミラーゼ、リパーゼ、グルコースオキシダーゼなどの他酵素とは役割が異なります。アミラーゼが主にデンプンを対象とするのに対し、Xylanaseはヘミセルロースの一部を改変します。したがって、パン生地で観察される効果は、糖生成そのものよりも、繊維多糖による水分拘束とグルテンネットワークへの物理的干渉を緩和することに起因します<sup>[4]</sup>。

## パルプ・紙：漂白前処理でキシラン障壁を緩める

パルプ・紙分野では、Xylanaseはバイオブリーチング前処理に使われます。クラフト蒸解後のパルプでは、キシランがセルロース繊維表面に再沈着し、残留リグニンや発色性成分を閉じ込めるように働くことがあります。Xylanaseがこのキシラン層を部分的に除去すると、漂白薬品が繊維内部へ浸透しやすくなり、後段漂白の効率に影響します<sup>[8]</sup>。

パルプ用途では、Xylanaseにアルカリ側での安定性や工程温度への適応が求められることがあります。構造ベースのタンパク質工学研究では、パルプ漂白を目的として、エンド $\beta$ -1,4-Xylanaseの耐熱性およびアルカリ適性を高める試みが報告されています。これは、実工程でのpH、温度、接触時間が酵素反応性に直結するためです<sup>[8]</sup>。

ここで重要なのは、Xylanaseが紙を直接白くするわけではない点です。Xylanaseの役割は、漂白対象であるリグニン関連成分への薬品アクセスを阻害するキシラン障壁を調整することです。したがって、最終白色度や薬品削減の程度は、木材種、蒸解条件、パルプ洗浄、漂白シーケンスに依存します<sup>[8]</sup>。



**Figure 3.** 엔도자일라네이스는 셀룰로오스, 리그닌 함유 영역, 영양소 또는 수용성 추출물에 대한 접근을 제한하는 자일란 사슬을 짧게 만들어 식물성 물질을 느슨하게 한다.

### 果汁・飲料・醸造：粘度低下と清澄化を助ける

果汁清澄化では、Xylanaseはペクチナーゼやセルラーゼとともに、果実細胞壁のヘミセルロース画分を分解します。果汁中の多糖が高いと、圧搾、沈降、遠心、ろ過の効率が低下し、濁度や粘度が残りやすくなります。Xylanaseはキシラン系多糖を短くし、ろ過性や清澄性の改善に寄与します [9]。

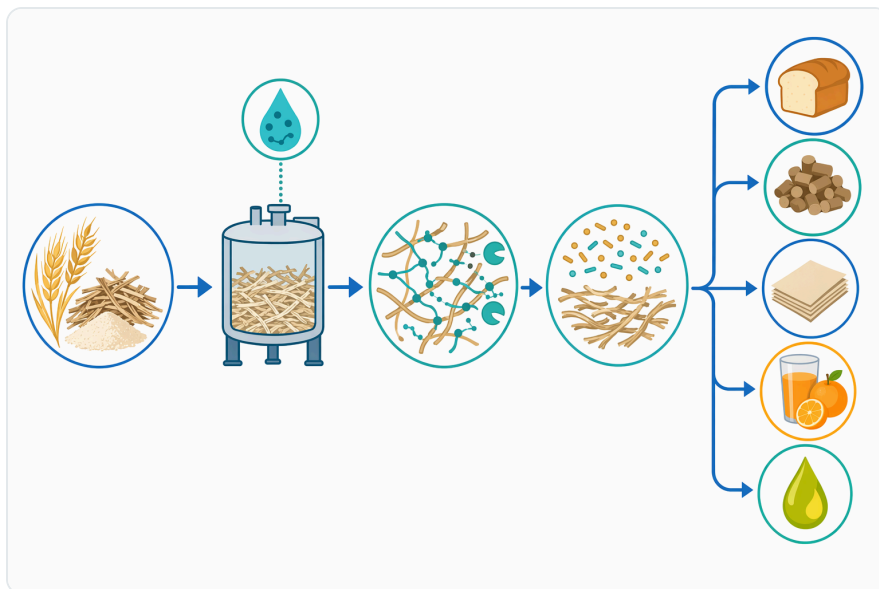
リンゴジュースのような酸性環境では、酸安定性を持つXylanaseが注目されています。組換えGH11 XylanaseのN末端置換によって酸安定性を高め、リンゴジュース清澄化への適用を目指した研究が報告されています。これは、果汁工程では低pH環境で酵素が一定時間機能する必要があるためです [10]。

醸造では、大麦、ライ麦、小麦、オーツなどに由来するアラビノキシランや $\beta$ -グルカンが麦汁粘度やろ過抵抗に関係します。Xylanaseはマッシングや穀物抽出工程でアラビノキシランを部分分解し、ロイタリングやろ過の負荷を下げる目的で利用されます。ベータグルカナーゼなどとの併用では、穀物細胞壁由来多糖を複数方向から分解する設計になります [4]。

### バイオマス糖化・バイオリファイナリー：セルロースへのアクセスを増やす

リグノセルロース系バイオマスでは、セルロース微繊維がヘミセルロースとリグニンに取り囲まれています。キシランはヘミセルロースの主要構成要素であり、セルラーゼがセルロースへアクセスする際の物理的障壁になります。Xylanaseでキシランを部分分解すると、セルラーゼの作用点が露出し、糖化工程の効率改善につながる可能性があります [4]。

Aureobasidium pullulans由来Xylanaseの研究では、アーティチョーク茎を基質とした酵素生産、酵素特性評価、リグノセルロース系バイオマス糖化への応用が報告されています。農業残渣を基質や処理対象として利用する研究は、Xylanaseが廃棄系バイオマスの価値化に関係することを示しています<sup>[11]</sup>。



**Figure 4.** 펄프 예비 표백에서 자일라네이스는 표면에 재침착된 자일란을 부분적으로 제거하여 표백 화학물이 섬유에 더 효과적으로 침투하고 리그닌 유래 발색단이 빠져나갈 수 있게 한다.

近年は、Xylanaseと $\beta$ -グルコシダーゼを併せ持つ二機能性酵素や、ナノセルロース担体を用いた酵素活用も研究されています。エタノール生産を高める目的で、メタゲノム由来の二機能性Xylanase/ $\beta$ -グルコシダーゼ酵素を利用した研究は、ヘミセルロース分解とセルロース由来糖利用の接続が重要であることを示しています<sup>[12]</sup>。

### キシロオリゴ糖 (XOS) 生産：完全分解ではなく選択的な部分分解

Xylanaseは、キシランからキシロオリゴ糖 (XOS) を生成するためにも利用されます。XOSはキシロースが数個連なったオリゴ糖で、単糖まで過度に分解せず、目的とする鎖長範囲を得ることが重要です。そのため、XOS用途では、酵素の基質特異性、生成物分布、反応停止の設計が品質に直結します<sup>[13]</sup>。

GH11エンド $\beta$ -1,4-Xylanaseを磁性MOF複合体へ多点固定化し、XOS収率を高める研究も報告されています。固定化は、酵素の再利用性、反応安定性、生成物制御に関係する技術であり、Xylanaseを溶液反応だけでなく、制御されたバイオプロセスに組み込む方向性を示しています<sup>[3]</sup>。

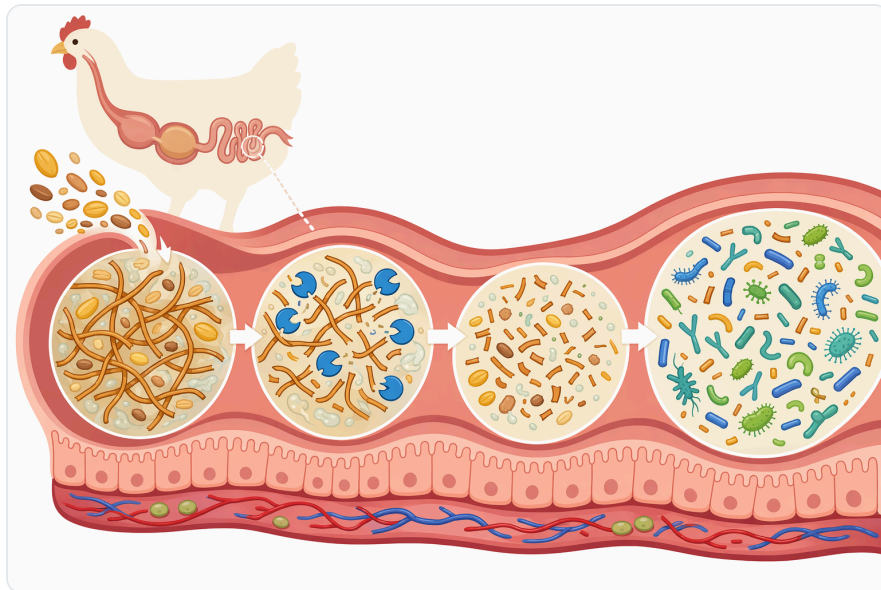
低温適応XylanaseをPichia pastorisで発現し、XOS調製へ応用した研究もあります。低温条件で反応できるXylanaseは、熱に弱い原料成分を扱う場合や、不要な副反応を抑えたい場合に研究対象となります。XOS用途では、単に強く分解する酵素ではなく、狙ったオリゴ糖プロファイルを作る酵素が価値を持ちます<sup>[14]</sup>。

## 用途別に見るXylanaseの役割比較

用途領域	主な基質・課題	Xylanaseの具体的な作用	期待される工程上の効果	効果を左右する要因
飼料	小麦・ライ麦・大麦・トウモロコシ副産物中のアラビノキシラン	$\beta$ -1,4キシラン主鎖を部分分解	粘度低下、栄養素へのアクセス改善、腸内発酵基質の変化	穀物種、可溶性NSP量、加熱工程、動物種 <sup>[2]</sup>
製パン	小麦粉・全粒粉・ふすま中のアラビノキシラン	保水性多糖の鎖長を短縮	生地伸展性、水分分布、クラム構造の調整	粉の抽出率、加水、発酵、他酵素との組み合わせ <sup>[1]</sup>
パルプ・紙	繊維表面に再沈着したキシラン	キシラン障壁を部分除去	漂白薬品の浸透性向上、漂白効率の改善	パルプ種、pH、温度、漂白シーケンス <sup>[8]</sup>
果汁・醸造	果実・穀物由来のヘミセルロース	粘度形成多糖を低分子化	清澄化、ろ過性、抽出性の改善	原料細胞壁、酸性条件、ペクチナーゼ等との併用 <sup>[9]</sup>
バイオマス糖化	リグノセルロース中のヘミセルロース	セルロース周辺のキシランを分解	セルラーゼアクセス向上、糖化補助	前処理条件、リグニン、酵素カクテル構成 <sup>[4]</sup>
XOS生産	植物キシラン	選択的なエンド分解	キシロオリゴ糖生成	酵素ファミリー、反応制御、固定化技術 <sup>[3]</sup>

## 酵素特性で注目されるポイント：耐熱性、酸性、アルカリ性、固定化

Xylanaseの工業利用では、基質特異性だけでなく、工程環境への適応が重視されます。パルプ漂白ではアルカリ条件と温度、果汁では酸性条件、飼料では加工時の熱、バイオマス糖化では前処理後のpHや阻害成分が課題になります。耐熱性酵素研究の文献動向でも、工業利用を背景に、熱安定性を持つ酵素への関心が高いことが示されています<sup>[15]</sup>。



**Figure 5.** 사료에서 자일라네이스는 아라비노자일란 장벽을 줄이고, 이후 미생물 발효에 영향을 미치는 자일란 유래 조각을 생성할 수 있다.

酸性条件への適応は、果汁清澄化で特に重要です。GH11 XylanaseのN末端置換によって酸安定性を改善し、リンゴジュース清澄化へ応用する研究は、酵素タンパク質の局所構造が工程適合性を左右することを示します。酸性下で立体構造が崩れると、活性部位の形状や基質結合が維持できず、キシラン分解が進みにくくなります<sup>[10]</sup>。

アルカリ性と耐熱性は、パルプ分野でよく議論されます。構造ベースのタンパク質工学により、エンドβ-1,4-Xylanaseの耐熱性とアルカリ適性を高める研究では、表面電荷、塩橋、疎水性相互作用、柔軟領域の制御が酵素安定化に関係すると考えられています。これは、パルプ工程が食品用途よりも厳しい物理化学条件を含むためです<sup>[8]</sup>。

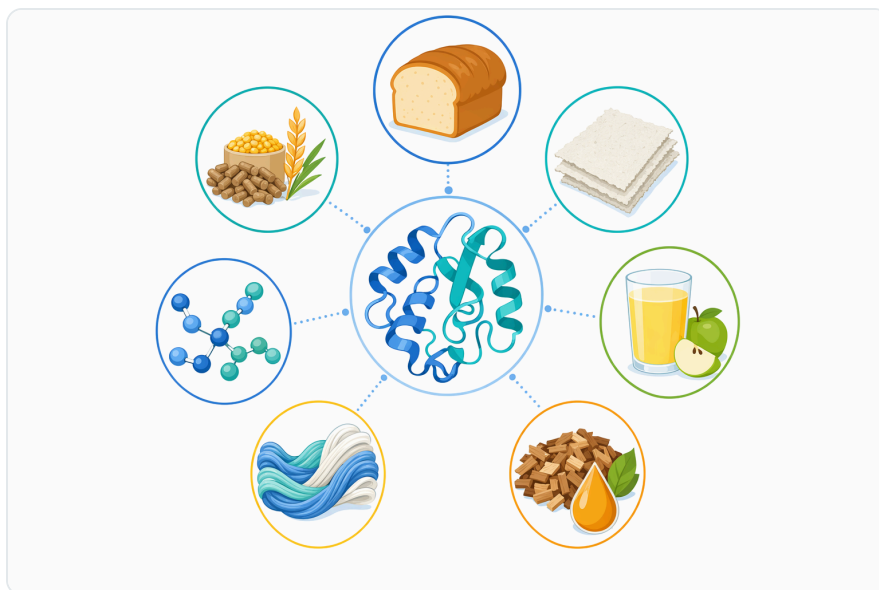
固定化技術もXylanase研究の重要領域です。ポリビニルアルコール電界紡糸マトリックスへの固定化やβ-シクロデキストリン複合化では、幅広いpH・温度範囲での酵素挙動改善が検討されています。固定化は、反応後の酵素回収、再利用、熱やpH変化への耐性、生成物分布の制御に関係します<sup>[16]</sup>。

磁性ナノ粒子や磁性MOFを使った固定化研究では、Xylanaseを反応後に磁力で回収し、再利用しやすくする考え方が示されています。酵素の固定化は、Enzymes.bioの通常供給形態を意味するものではありませんが、Xylanaseが可溶性酵素としてだけでなく、制御された反応システムの一部として研究されていることを理解する助けになります<sup>[17]</sup>。

## 由来微生物と生産研究：糸状菌、細菌、酵母、放線菌

Xylanaseは糸状菌、細菌、酵母、放線菌など多様な微生物から見いだされています。Aspergillus terreus由来Xylanaseの研究では、内生菌から得られた酵素の特性と応用可能性が検討され、真菌由来Xylanaseが食品、バイオマス、産業処理に関連することが示されています<sup>[18]</sup>。

Bacillus属もXylanase研究で頻繁に扱われます。Bacillus subtilis、Bacillus mojavensis、Bacillus haloduransなどの研究では、農業副産物や低コスト基質を用いた生産、酸性またはアルカリ性条件への適応、発酵条件最適化が報告されています。Bacillus由来酵素は、細菌酵素として工程安定性や分泌生産の面で注目されます<sup>[19]</sup>。



**Figure 6.** 식품 및 곡물 분야의 응용은 자일라네이스가 반죽의 수분 분포, 점도, 추출, 여과, 결합 화합물의 방출에 미치는 아라비노자일란의 영향을 조절하는 데 달려 있다.

海洋放線菌由来のエンドXylanaseも、XOS生産への可能性が研究されています。海洋環境由来微生物は、塩濃度、温度、特殊な基質環境への適応を持つ場合があり、新規Xylanase探索の対象になります。こうした多様な由来は、同じ「xylanase」であっても、工程適性が一様ではないことを示しています<sup>[13]</sup>。

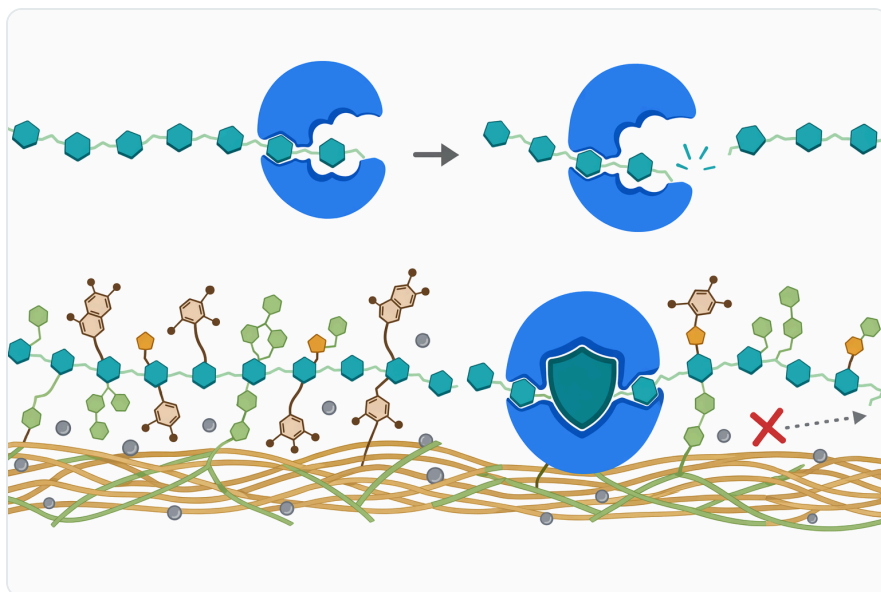
農業・食品残渣を用いた固体発酵研究では、Aspergillus oryzae、Aspergillus heteromorphus、BasidiomycetesなどによるXylanase生産が検討されています。これは、Xylanaseが植物残渣を分解する酵素であると同時に、その植物残渣を酵素生産基質としても利用できることを示す研究領域です<sup>[20]</sup>。

## Xylanase単独使用と酵素ブレンドの違い

Xylanase単独で効果が見えやすいのは、課題の主因がキシランまたはアラビノキシランである場合です。たとえば、小麦系飼料の可溶性アラビノキシラン、ライ麦を含む生地、パルプ表面のキシラン再沈着、XOS生産のように、標的多糖が明確な用途では、Xylanaseの役割を説明しやすくなります<sup>[1]</sup>。

一方、果実、穀物、農業残渣、木質バイオマスでは、細胞壁が複合構造を持つため、Xylanaseだけでは十分でない場合があります。セルラーゼはセルロース、ペクチナーゼはペクチン、 $\beta$ -グルカナーゼは $\beta$ -グルカン、アミラーゼはデンプンを対象にします。セルラーゼとXylanaseの相乗作用に関するレビューでは、複数酵素の組み合わせが産業バイオテクノロジーで重要であることが整理されています<sup>[4]</sup>。

ただし、酵素を増やせば常に良い結果になるわけではありません。製パンでは過度なヘミセルロース分解が生地の粘着性や構造低下につながる場合があります、果汁では過剰分解により濁り成分や沈殿挙動が変わる可能性があります。バイオマス糖化でも、リグニンへの非生産的吸着や副生成物の影響を受けるため、酵素組み合わせは目的と原料に応じて設計されます<sup>[4]</sup>。



**Figure 7.** 식물 자일라네이스 억제제와 복잡한 원료 조성은 정제된 자일란에서의 효소 성능과 실제 곡물 또는 농업 기질에서의 효소 성능이 달라지게 할 수 있다.

## Enzymes.bioにおけるXylanaseの供給位置づけ

Enzymes.bioは、Xylanaseを必要とする事業者向けの供給業者であり、製造業者または研究機関ではありません。製品は1kg単位でオンラインから直接購入でき、注文時にCoAおよびSDSが併せて提供されます。用途は、飼料、食品加工、飲料、パルプ、バイオマス処理など、キシランやアラビノキシランが工程上の課題となる領域に広がります。

Enzymes.bioの役割は、特定工程での性能を過度に保証することではなく、Xylanaseをオンラインで入手できる供給チャネルとして提供することです。Xylanaseの効果は、原料中のアラビノキシラン量、pH、温度、接触時間、他酵素、物理処理、最終品質目標によって変わります。そのため、Xylanaseは万能な添加剤ではなく、植物細胞壁中のヘミセルロースを標的にした工程制御用酵素として理解するのが適切です<sup>[1]</sup>。

### まとめ：Xylanaseは「粘度・繊維障壁・アクセス性」を変える酵素

Xylanaseは、キシランおよびアラビノキシランの $\beta$ -1,4結合を切断することで、植物由来原料の粘度、保水、細胞壁構造、酵素アクセス性を変化させます。飼料では非デンプン性多糖による粘度と栄養利用、製パンでは水分分布と生地構造、パルプでは漂白前のキシラン障壁、果汁・醸造ではろ過性、バイオマス糖化ではセルロースへのアクセス、XOS生産では選択的なオリゴ糖生成に関係します<sup>[1]</sup>。

研究面では、GH10・GH11などの酵素ファミリー、耐熱性、酸安定性、アルカリ適性、固定化、二機能性酵素、微生物由来の多様性が活発に検討されています。これらの知見は、同じXylanaseであっても用途により求められる性質が異なることを示しています<sup>[15]</sup>。Enzymes.bioは、こうした産業用途で検討されるXylanaseを、1kg単位でオンライン直接購入できる形で供給し、注文時にCoAおよびSDSを提供します。

#### Xylanase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。

[Xylanase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. 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. Pirgozliev, V., Mansbridge, S., Whiting, I., Abdulla, J., Rose, S., Kljak, K., Johnson, A. E., ... et al. (2023). The Benefits of Exogenous Xylanase in Wheat-Soy Based Broiler Chicken Diets, Consisting of Different Soluble Non-Starch Polysaccharides Content. *Poultry*.
3. Gui, Y., Wu, Y., Shu, T., Hou, Z., Hu, Y., Li, W., & Yu, L. (2024). Multi-point immobilization of GH 11 endo- $\beta$ -1,4-xylanase on magnetic MOF composites for higher yield of xylo-oligosaccharides. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129277 .
4. Bajaj, P., & Mahajan, R. (2019). Cellulase and xylanase synergism in industrial biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 8711 - 8724.
5. Dutta, B., Banerjee, A., Chakraborty, P., & Bandopadhyay, R. (2018). In silico studies on bacterial xylanase enzyme: Structural and functional insight. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 16, 749 - 756.
6. Romero, J. J., Macias, E. G., Ma, Z., Martins, R. M., Staples, C., Beauchemin, K., & Adesogan, A. (2016). Improving the performance of dairy cattle with a xylanase-rich exogenous enzyme preparation. *Journal of Dairy Science*, 99 5, 3486-3496 .
7. Liu, J., Liu, M., Sheng, P., Song, C., Ma, W., Bai, B., Zhao, J., ... et al. (2025). Biotechnological Effects of Lactobacillus plantarum, Cellulase, and Xylanase on Nutritional Quality and Microbial Community Structure of Corn Stover Silage. *Fermentation*.
8. Boonyapakron, K., Jaruwat, A., Liwnaree, B., Nimchua, T., Champreda, V., & Chitnumsub, P. (2017). Structure-based protein engineering for thermostable and alkaliphilic enhancement of endo- $\beta$ -1,4-xylanase for applications in pulp bleaching. *Journal of Biotechnology*, 259, 95-102 .
9. Kaushal, J., Khatri, M., Singh, G., & Arya, S. (2021). A multifaceted enzyme conspicuous in fruit juice clarification: An elaborate review on xylanase. *International Journal of Biological Macromolecules*.
10. Li, Q., Qin, C., Chen, X., Hu, K., Jian-Li, Liu, A., & Liu, S. (2024). Enhancing the acid stability of the recombinant GH11 xylanase xynA through N-terminal substitution to facilitate its application in apple juice clarification. *International Journal of Biological Macromolecules*, 131857 .
11. Yegin, S. (2017). Xylanase production by Aureobasidium pullulans on globe artichoke stem: Bioprocess optimization, enzyme characterization and application in saccharification of lignocellulosic biomass. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 47, 441 - 449.
12. Ariaeenejad, S., Motamedi, E., Kavousi, K., Ghasemitabesh, R., Goudarzi, R., Salekdeh, G., Zolfaghari, B., ... et al. (2023). Enhancing the ethanol production by exploiting a novel metagenomic-derived bifunctional xylanase/ $\beta$ -glucosidase enzyme with improved  $\beta$ -glucosidase activity by a nanocellulose carrier. *Frontiers in Microbiology*, 13.

13. Rahmani, N., Apriliana, P., Jannah, A. M., Ratnakomala, S., Lisdiyanti, P., Hermiati, E., Prasetya, B., ... et al. (2019). Endo-xylanase enzyme from marine actinomycetes and its potential for xylooligosaccharide production. *IOP Conference Series: Earth and Environment*, 251.
14. Rodríguez, S., González, C., Reyes-Godoy, J. P., Gasser, B., Andrews, B., & Asenjo, J. A. (2025). Expression and characterization of cold-adapted xylanase Xyl-L in *Pichia pastoris* for xylooligosaccharide (XOS) preparation. *Microbial Cell Factories*, 24.
15. Hussian, C. H. A. C., & Leong, W. Y. (2023). Thermostable enzyme research advances: a bibliometric analysis. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 21.
16. Santos, J. P., Zavareze, E., Dias, A., & Vanier, N. L. (2018). Immobilization of xylanase and xylanase- $\beta$ -cyclodextrin complex in polyvinyl alcohol via electrospinning improves enzyme activity at a wide pH and temperature range. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118 Pt B, 1676-1684 .
17. Salem, K., Jabalera, Y., Puentes-Pardo, J. D., Vilchez-Garcia, J., Sayari, A., Hmida-Sayari, A., Jiménez-López, C., ... et al. (2021). Enzyme Storage and Recycling: Nanoassemblies of  $\alpha$ -Amylase and Xylanase Immobilized on Biomimetic Magnetic Nanoparticles. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 9, 4054 - 4063.
18. Ahmed, S. A., Saleh, S. A. A., Mostafa, F., Aty, A. A. E., & Ammar, H. A. (2016). Characterization and valuable applications of xylanase from endophytic fungus *Aspergillus terreus* KP900973 isolated from *Corchorus olitorius*. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 7, 134-144.
19. Kallel, F., Driss, D., Châari, F., Zouari - Ellouzi, S., Chaâbouni, M., Ghorbel, R., & Châabouni, S. (2016). Statistical optimization of low-cost production of an acidic xylanase by *Bacillus mojavensis* UEB-FK: Its potential applications. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 5, 1-10.
20. Carvalho, M. S., Menezes, L. H. S., Pimentel, A. B., Costa, F. S., Oliveira, P. C., Santos, M. M. O., Carvalho Tavares, I. M., ... et al. (2022). Application of Chemometric Methods for the Optimization Secretion of Xylanase by *Aspergillus oryzae* in Solid State Fermentation and Its Application in the Saccharification of Agro-industrial Waste. *Waste and Biomass Valorization*, 14, 3183 - 3193.


## 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](mailto: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。