

製パン用キシラナーゼ酵素粉末：食パン・全粒粉パン・高繊維生地の品質調整用途

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

製パン用キシラナーゼは、小麦粉やふすまに含まれるアラビノキシランなどのヘミセルロースに作用し、生地水分分布、粘弾性、ガス保持、クラム形成を調整するために使われる酵素です。主な狙いは「小麦粉を分解する」ことではなく、非デンプン性多糖の一部を制御して、ミキシング、発酵、焼成で扱いやすい生地構造へ近づけることです。効果は小麦粉の種類、全粒粉・ふすま比率、グルテン強度、他の酵素や酸化剤との組み合わせに依存します^[1]。

製パン向けキシラナーゼの位置づけ

キシラナーゼは、植物細胞壁に多いキシラン系多糖の主鎖を加水分解する酵素群です。食品、飼料、パルプ・紙、バイオマス処理など幅広い産業用途で研究・利用されており、製パンでは小麦粉中のアラビノキシラン画分を調整する工程補助酵素として位置づけられます^[2]。

Enzymes.bioは本製品の供給業者であり、製造業者または研究機関ではありません。製品はオンラインで1kg単位にて直接購入でき、注文時には製品に関連するCoAおよびSDSが併せて提供されます。本稿は、製パン用途でキシラナーゼを理解するための技術解説であり、特定処方での性能保証や製造条件の指示を目的とするものではありません。

製パンでキシラナーゼが注目される理由は、デンプンやグルテンだけでは説明しきれない生地挙動に、少量の非デンプン性多糖が強く関与するためです。小麦のアラビノキシランは水を保持し、生地粘度、伸展抵抗、ガスセルの安定性、クラムのきめに影響します。全粒粉やふすま配合ではこの影響がさらに大きくなり、キシラナーゼによる部分的な構造調整が実務上の意味を持ちます^[3]。

作用機序：アラビノキシランを部分的にほどこき、生地中の水とネットワークを再配分する

キシラナーゼの中心的な反応は、キシラン主鎖に存在する β -1,4結合の加水分解です。エンド型キシラナーゼは高分子キシランの内部結合に作用し、分子量の低いキシロオリゴ糖や可溶性画分を生じさせます。この反応により、穀粉中のヘミセルロースが持つ水分保持、粘度形成、粒子間相互作用

用が変化します^[4]。

小麦生地では、アラビノキシランは大きく水溶性画分と水不溶性画分に分けて考えられます。水不溶性画分が過度に水を抱え込むと、グルテン形成に使われる自由水が不足し、生地が硬く、切れやすく、膨張しにくくなることがあります。キシラナーゼがその一部を可溶化または低分子化すると、水の再配分が起こり、ミキシング中のグルテン形成や発酵中のガス保持に影響します^[1]。

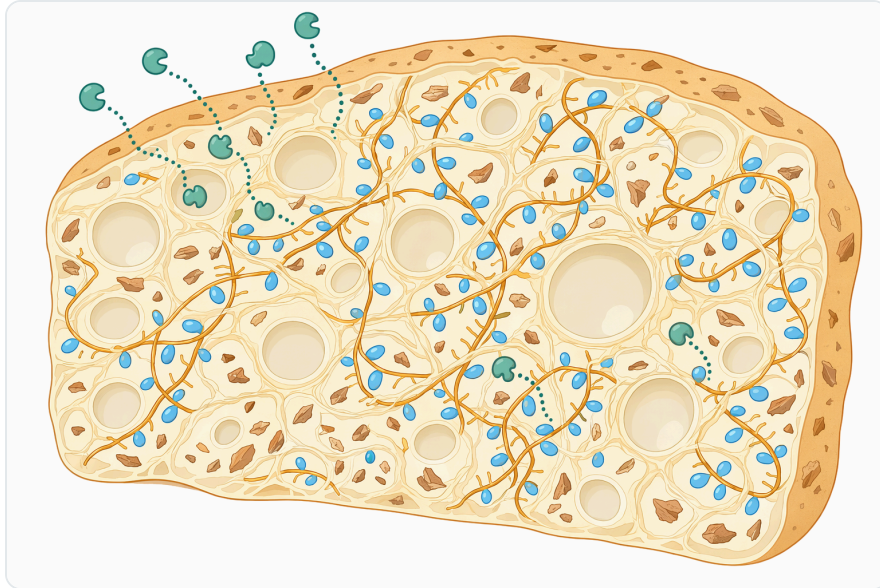


Figure 1. 밀가루와 밀기울에 들어 있는 아라비노자일란은 물을 결합해 글루텐의 연속성, 반죽 점도, 가스 셀 팽창에 영향을 준다.

ただし、キシラナーゼの効果は単純な「軟化」ではありません。適度な分解では、可溶性アラビノキシランが生地中の水相粘度やガスセル膜の安定に寄与し、発酵ガスを保持しやすい構造を支える可能性があります。一方、反応が過剰になると、低分子化が進みすぎて生地がべたつき、成形性が低下し、焼成後の内相が不均一になることがあります^[5]。

このため、製パン用キシラナーゼは「強く分解する酵素」ではなく、「生地機能に関わるヘミセルロースを必要な範囲で調整する酵素」と捉えるのが適切です。特に全粒粉パン、ふすま入りパン、高繊維パンでは、繊維由来成分がグルテンネットワークを物理的に分断しやすいため、アラビノキシランの状態変化が生地の伸展性やガス保持に反映されやすくなります^[6]。

製パン工程で期待される機能

生地の取扱性を整える

小麦粉ロットや配合の違いにより、生地は硬い、締まる、伸びにくい、または逆に粘着しやすいといった挙動を示します。キシラナーゼはアラビノキシランの水分保持と粘度形成を変えることで、ミキシング中のまとまり、分割・丸め時の抵抗、成形時の伸展性に影響します。酵素とアスコルビン酸を組み合わせた小麦パン研究でも、生地レオロジーとパン品質が酵素処理により変化することが示されています^[7]。

ガス保持と窯伸びを支える

発酵中に生じる炭酸ガスは、グルテン膜、デンプン粒、可溶性多糖を含む連続相に保持されます。アラビノキシランが適切に調整されると、生地の伸展性と粘性のバランスが変わり、ガスセルの合一や破裂を抑えやすくなる場合があります。穀粉抽出物の組成がモデル生地のガスセルサイズ分布や伸長レオロジーに影響することも報告されており、非デンプン性成分の重要性が示されています^[8]。

クラム構造と食感を調整する

焼成後のクラムは、発酵中の気泡構造と焼成中のデンプン糊化・タンパク質凝固の結果として形成されます。キシラナーゼ処理によって生地中の水の所在と粘弾性が変わると、クラムのきめ、口どけ、スライス時の崩れやすさにも影響が出ます。アミラーゼ、キシラナーゼ、セルラーゼを組み合わせた研究では、生地特性とパン品質の両方が酵素処理により改善対象として評価されています^[9]。

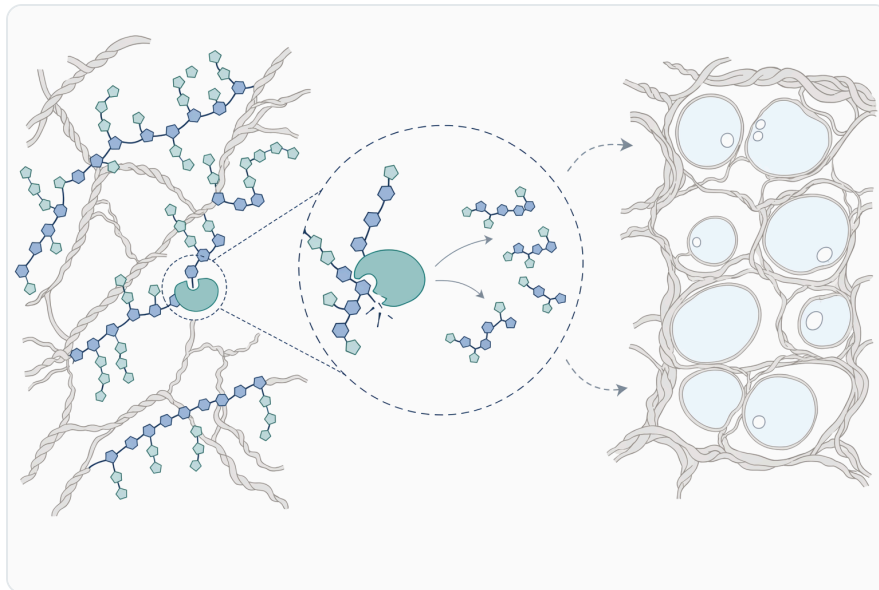


Figure 2. 엔도자일라나아제는 아라비노자일란 사슬의 내부 결합을 절단해 사슬 크기를 줄이고, 물에 추출되지 않는 물질을 더 기능적인 수용성 조각으로 전환시킨다.

全粒粉・ふすま配合での負荷を軽減する

全粒粉やふすまは、食物繊維、ミネラル、フェノール性成分を増やせる一方で、パン体積の低下、内相の粗さ、生地 of 切れやすさを招きやすい素材です。β-エンドキシラーゼおよび関連酵素による小麦ふすま処理では、栄養的性質と製パン技術的性質の両面が検討されており、ふすま中のアラビノキシラン調整が機能性パン設計の一部になり得ることが示されています^[3]。

製パン用酵素の中でのキシラーゼの役割

製パンでは複数の酵素が使われますが、それぞれの主基質と生地への作用点は異なります。キシラーゼはグルテンを直接架橋する酵素でも、デンプンを主に糖化する酵素でもなく、ヘミセルロース画分を通じて水分分布と生地構造を間接的に調整します^[4]。

酵素・処理系	主な作用対象	製パンでの主な狙い	キシラーゼとの違い
キシラーゼ	アラビノキシラン、キシラン系ヘミセルロース	生地の水分分布、粘弾性、ガス保持、クラム構造の調整	非デンプン性多糖を主対象とし、全粒粉・高繊維系で意味が大きい
α-アミラーゼ	損傷デンプン、デンプン分解物	発酵性糖の供給、焼色、クラム柔らかさの補助	デンプン系に作用し、糖生成と老化抑制に関与しやすい
セルラーゼ	セルロース系繊維	繊維構造の緩和、複合酵素系での生地改良	キシラーゼよりセルロース寄りの細胞壁成分に作用

酵素・処理系	主な作用対象	製パンでの主な狙い	キシラナーゼとの違い
β -グルカナーゼ	β -グルカン	大麦・オート麦などを含む配合で粘度調整	β -グルカンが多い穀物ブレンドで重要度が上がる
プロテアーゼ	グルテンタンパク質	伸展性向上、硬い生地の緩和	過剰作用でグルテン弱化が起こりやすく、作用点が根本的に異なる
酸化系処理	タンパク質間相互作用など	生地の締まり、耐ミキシング性、ガス保持の補助	キシラナーゼの多糖調整とは異なる経路でネットワークを変える

酵素の組み合わせは、単純な足し算ではありません。キシラナーゼで水分分布が変わると、アミラーゼが作用する水相、グルテン形成、発酵中の気泡安定性にも影響が及びます。高地大麦と小麦のブレンドでは、キシラナーゼと β -グルカナーゼの相乗的な生地構造・パン品質への影響が研究対象となっており、穀物の多糖組成に応じた酵素選択の重要性が示されています^[10]。

小麦粉の種類と処方依存性

キシラナーゼの効果は、同じ名称の酵素を用いても、原料小麦の品種、灰分、損傷デンプン、タンパク質量、ふすま粒度、水分、塩、糖、油脂、乳化剤、酸化剤の有無によって変わります。異なる小麦品種から調製した生地を対象に化学酸化剤と酵素処理を比較した研究では、処理効果が小麦原料の違いに依存することが示されています^[11]。

白パンでは、キシラナーゼの主な役割は少量のアラビノキシラン画分を調整し、伸展性、ガス保持、クラムの均一性を補助することです。全粒粉パンでは、ふすま由来の細胞壁成分が増えるため、キシラナーゼの作用対象が増えますが、同時に過剰な可溶化による粘着や生地軟化のリスクも大きくなります。全粒粉ベースの生地特性と焼成品質は、酵素や乳化剤の補助により変化することが報告されています^[6]。

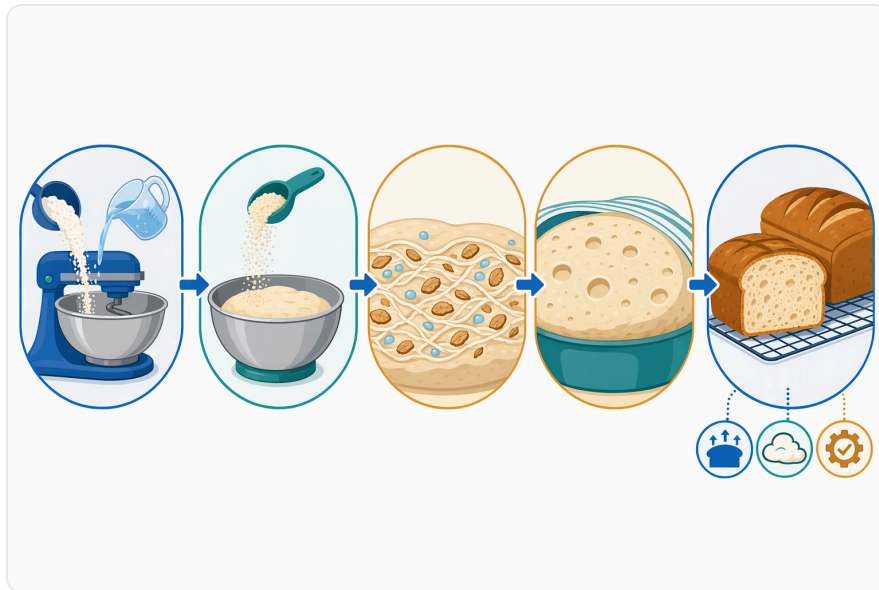


Figure 3. 자일라나아제는 주로 수화, 믹싱, 발효, 최종 발효 과정에서 작용하며, 오븐 열로 빵 구조가 고정되면서 효소 활성이 점차 멈춘다.

オートブランや他の穀物繊維を加えたパンでは、アラビノキシランだけでなく β -グルカンやセルロース系成分も生地粘度に関与します。オートブラン添加小麦パンの研究では、バイオプロセッシングにより生地のレオロジー特性とパン品質を改善する試みが行われており、繊維配合では単一成分ではなく細胞壁全体の挙動を考える必要があります^[12]。

ライ麦を含む生地では、小麦よりもアラビノキシランの影響が大きく、グルテンネットワークだけでパン構造を説明しにくくなります。ライ麦生地とパンにおけるアラビノキシランの局在と酵素修飾を扱った研究では、タンパク質ネットワークや構造への影響が検討されており、キシラナーゼの意味は穀物種によって変わることがわかります^[5]。

ミキシング、発酵、焼成中に何が起こるか

キシラナーゼは、粉体原料に分散された後、水が加わることで生地中の基質に接触しやすくなります。ミキシング初期には、小麦粉粒子が吸水し、グルテンタンパク質がネットワークを形成し始め、同時にアラビノキシランが水相の粘度と水分分配を左右します。ここでキシラナーゼが過度な水拘束を緩めると、グルテン形成に利用できる水と生地の伸展挙動が変化します^[1]。

発酵中は、酵母が発生するガスを生地が保持できるかが重要になります。キシラナーゼによりアラビノキシランが適度に可溶化されると、ガスセル周辺の水相粘度や膜の安定性が変わり、気泡の成長と保持に影響する可能性があります。一方、過度の低分子化は粘着や膜の弱化につながるため、発酵耐性や成形性を損なう場合があります^[8]。

焼成中は温度上昇に伴い、デンプン糊化、タンパク質凝固、気泡膨張が進行し、パンの最終構造が固定されます。製パン用キシラナーゼは主として焼成前の生地段階で機能する工程補助酵素として理解されますが、酵素の耐熱性や温度安定性は、どの工程まで反応が続くかに影響します。近年は耐熱性キシラナーゼの製パン応用を扱う研究も増えており、酵素特性と工程条件の関係が注目されています^[13]。

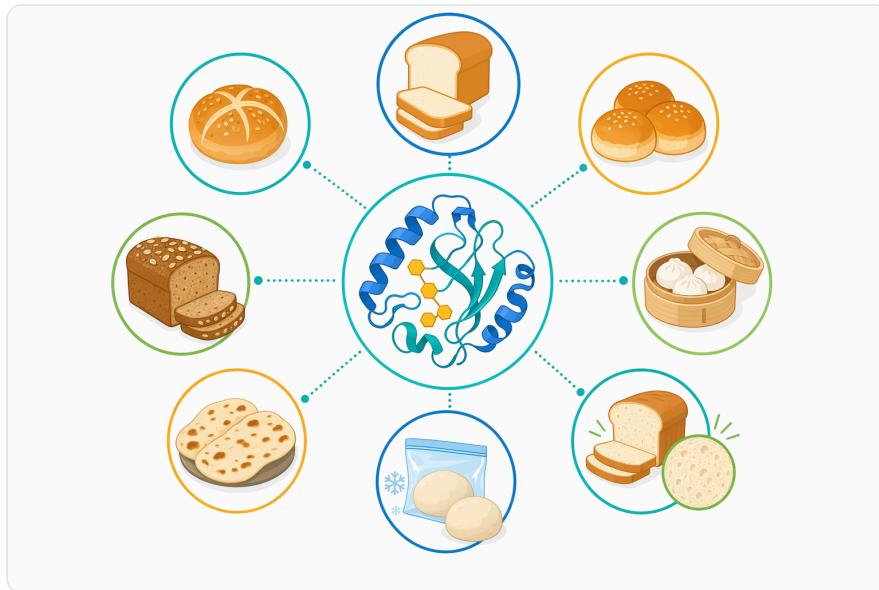


Figure 4. 자일라나아제의 작용을 적절히 조절하면 알맞은 밀 시스템에서 빵 부피, 오븐 스프링, 빵 속결의 균일성, 더 부드러운 식감, 더 다루기 쉬운 반죽을 돕는다.

耐熱性・pH特性をどう理解するか

キシラナーゼは起源や構造により、pH応答、温度安定性、基質選択性が異なります。GH11キシラナーゼのpH誘導構造変化を扱った研究のように、酵素タンパク質は環境条件に応じて立体構造や活性部位周辺の挙動が変化します。製パンでは、酵素そのものの性質に加えて、生地中の水分、塩、糖、脂質、発酵酸性化が反応に影響します^[14]。

耐熱性が高いキシラナーゼは、ミキシングから発酵、焼成初期まで比較的長く作用し得るため、少量の反応差が最終品質に反映される場合があります。耐熱性キシラナーゼを選抜・生産・機能評価し、生地およびパン品質の向上を検討した研究では、酵素の安定性と製パン適性が結び付けて評価されています^[15]。

一方、耐熱性が高ければ常に良いわけではありません。工程中に反応が長く続くほど、望ましい範囲を超えてアラビノキシランを分解する可能性もあります。祖先配列解析や計算支援設計により再構築された高活性・高安定性キシラナーゼの研究では、性能向上が小麦パン品質改善の文脈で検討されていますが、実際の処方では生地の軟化や粘着とのバランスが重要です^[16]。

クリーンラベル設計におけるキシラナーゼ

製パン業界では、化学的な改良剤だけに依存せず、酵素や熱処理粉を用いて生地改良を行う設計が増えています。従来型およびハイブリッド熱酵素処理小麦粉をクリーンラベルのパン改良剤として検討した研究では、加工粉や酵素的修飾がパン品質に与える影響が扱われています^[17]。

キシラナーゼは、最終製品に明確な風味を加える素材ではなく、生地段階で多糖の機能を変えるプロセス要素です。そのため、配合表示や地域規制の取り扱いは製品設計ごとに異なりますが、技術的には「非デンプン性多糖の状態を調整して、既存の小麦粉機能を引き出す」方向の改良手段として使われます^[2]。

クリーンラベル志向の処方では、乳化剤、酸化剤、還元剤、増粘多糖などを単純に置き換えるのではなく、酵素、発酵、粉体処理、ミキシング条件を組み合わせることで品質を作ります。キシラナーゼはこの中で、グルテンを直接補強するのではなく、グルテンが形成される水相と繊維相の条件を整える役割を担います^[7]。

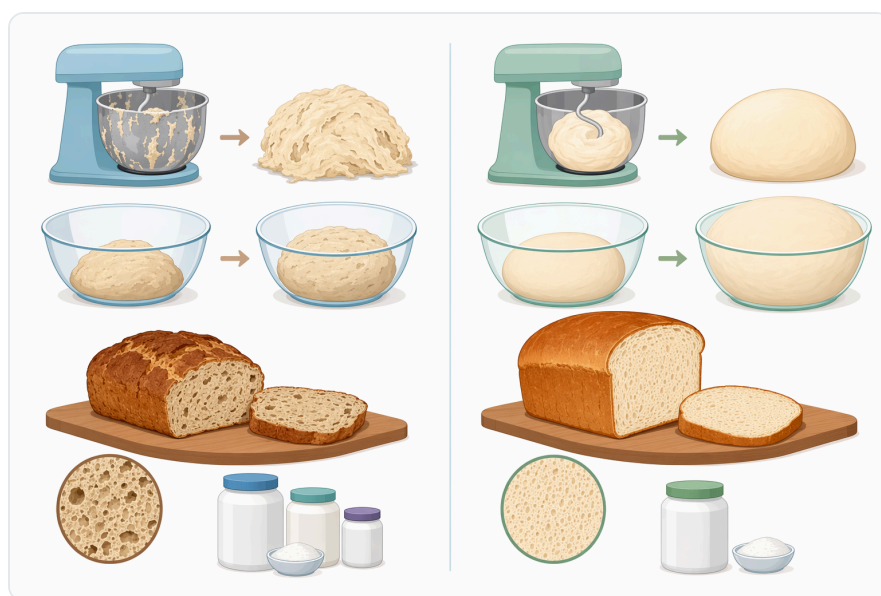


Figure 5. 자일라나아제는 주된 기질이 전분, 지질 또는 산화적 반죽 화학이 아니라 밀 아라비노자일란이라는 점에서 아밀라아제, 리파아제, 포도당 산화 효소와 다르다.

用途別に見た実務上の意味

食パン・ロールパン

食パンやロールパンでは、製品体積、窯伸び、内相の均一性、スライス適性が重視されます。キシラナーゼは、少量のアラビノキシラン調整により、生地伸びと粘性の均衡を取り、発酵ガスの保持を支える可能性があります。アミラーゼ、キシラナーゼ、セルラーゼを併用した研究では、複合酵素系が生地特性とパン品質に影響することが示されています^[9]。

全粒粉パン・高繊維パン

全粒粉や高繊維パンでは、ふすま粒子がグルテン膜を物理的に遮断し、細胞壁多糖が水を保持するため、生地が重くなりやすくなります。キシラナーゼはアラビノキシランを部分的に可溶化し、水分分布と繊維相の挙動を変えることで、加工負荷を緩和する手段になり得ます。小麦ふすまのバイオプロセッシングを機能性パン製造に応用する研究でも、ふすま特性の改善が重要なテーマになっています^[18]。

雑穀・大麦・ライ麦ブレンド

大麦、ライ麦、オート麦などを含むブレンドでは、小麦単独よりも非デンプン性多糖の種類が増え、生地挙動が複雑になります。キシラナーゼはアラビノキシランに作用しますが、 β -グルカンが多い配合では β -グルカナナーゼとの関係も重要です。高地大麦と小麦のブレンドを対象にした研究では、キシラナーゼと β -グルカナナーゼの相乗性が生地構造とパン品質の文脈で検討されています^[10]。

ピザ生地・長時間発酵生地

ピザ生地や長時間発酵生地では、伸展性、耐発酵性、焼成時の膨らみ、クラスト食感のバランスが重要です。全粒粉を用いた機能性ピザ生地の研究では、栄養強化とレオロジー最適化が同時に課題とされており、繊維を増やしながらか生地物性を維持する設計の難しさが示されています^[19]。

過剰反応で起こり得る問題

キシラナーゼは多く使えばよい酵素ではありません。アラビノキシランの低分子化が進みすぎると、生地の粘着、軟化、成形時のだれ、発酵中の耐性低下、焼成後の粗い気泡、腰折れなどにつながる可能性があります。これは、アラビノキシランが単なる障害物ではなく、適度な水相粘度とガスセル安定性に寄与する成分でもあるためです^[5]。

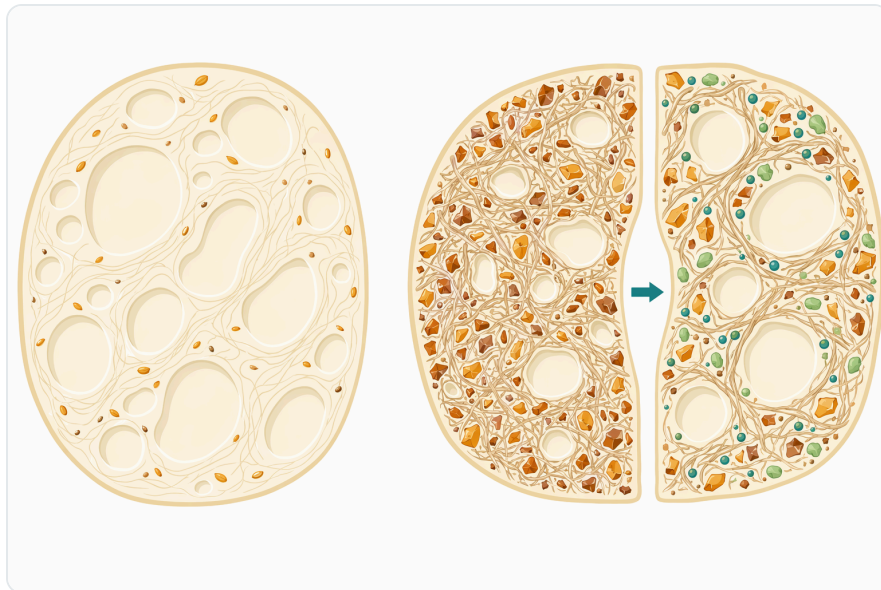


Figure 6. 통밀, 밀기울 강화 및 고섬유 반죽은 수분 관리에 영향을 주는 세포벽 다당류를 더 많이 포함하므로 자일라나아제의 중요성이 더 크게 나타나는 경우가 많다.

特に全粒粉やふすま配合では、基質量が多いため反応の振れ幅も大きくなります。ふすま粒度、前処理、吸水、発酵時間が変わると、同じ酵素でも生地粘弾性が異なる方向に動く場合があります。小麦ふすまの酵素的加水分解を扱った研究は、技術的性質と栄養的性質が同時に変化することを示しており、単純な「分解量」だけでは評価できません^[3]。

また、キシラナーゼは他の酵素と相互作用します。アミラーゼがデンプン分解を進め、プロテアーゼがグルテンを緩め、キシラナーゼが水相粘度を変えると、生地は複数方向から軟化します。酵素と酸化剤、乳化剤、塩の条件が変われば、同じ小麦粉でも最終的なパン品質は異なります^[11]。

粉末酵素としての取り扱い

粉末酵素は、粉体原料と一緒に扱いやすく、プレミックスや小麦粉ブレンドに組み込みやすい形態です。一方、酵素はタンパク質であり、粉じんの吸入や眼・皮膚への接触を避ける配慮が必要です。実際の取り扱いでは、注文時に提供されるSDSの情報に従い、作業環境に応じた粉じん対策を行うことが前提になります。

製パン現場では、局所的に高濃度で接触すると、その部分だけ生地が軟化したり粘着したりする可能性があります。そのため、粉末原料としての均一分散が品質安定に関わります。ただし、これは特定の試験方法や配合条件の指示ではなく、酵素が基質と水に接触して反応するという基本的な性質に基づく工程上の理解です^[4]。

Enzymes.bioからの購入形態と文書提供

Enzymes.bioの製パン用キシラナーゼ粉末は、オンラインで1kg単位にて直接購入できます。Enzymes.bioは供給業者として製品を提供しており、製造業者または研究機関として本稿を提示しているわけではありません。注文時にはCoAおよびSDSが併せて提供され、製品の受領後に社内の品質・安全管理文書として参照できます。

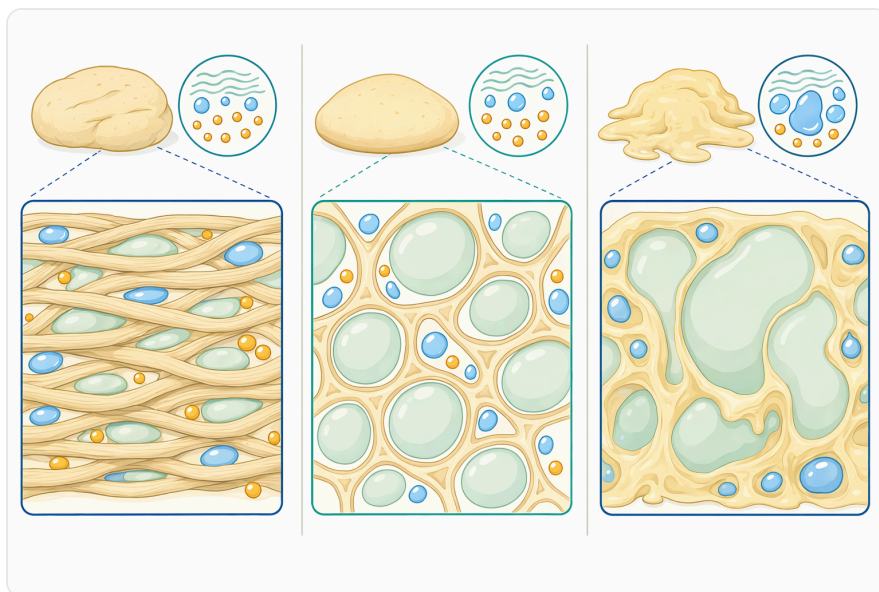


Figure 7. 자일라나아제의 성능은 시스템과 투입량에 따라 달라지며, 최상의 제빵 결과는 최대한 분해하는 것이 아니라 아라비노자일란 변형을 적절히 조절할 때 얻어진다.

本製品の技術的価値は、単一の数値や単独の性能表現ではなく、処方全体の中でアラビノキシランをどう扱うかにあります。白パンではガス保持と内相の均一性、全粒粉パンでは繊維由来の水分拘束とグルテン阻害、雑穀ブレンドでは多糖組成の複雑化が主な論点になります。キシラナーゼはこれらの課題に対して、ヘミセルロースを部分的に調整する酵素的手段を提供します^[1]。

まとめ：キシラナーゼは高繊維化と安定した製パン品質をつなぐ工程補助酵素

製パン用キシラナーゼは、小麦粉やふすまに含まれるアラビノキシランを部分的に加水分解し、生地中の水分分布、粘弾性、ガス保持、クラム形成を調整する酵素です。特に全粒粉パン、高繊維パン、雑穀ブレンドのように細胞壁多糖の影響が大きい処方では、キシラナーゼの作用が生地の扱いやすさと焼成後品質に反映されやすくなります^[3]。

一方で、キシラナーゼは万能のパン改良剤ではありません。効果は小麦粉品種、ふすま量、グルテン強度、吸水、発酵条件、他の酵素や酸化系処理との組み合わせに依存し、過剰な反応は粘着や軟化を招くことがあります。したがって、キシラナーゼは「分解力」ではなく、「アラビノキシランを通じて生地構造を調整する機能」として理解することが重要です^[11]。

Enzymes.bioは、製パン向けキシラナーゼ粉末を1kg単位でオンライン直接販売する供給業者です。注文時にはCoAおよびSDSが提供されます。本製品は、食パン、ロールパン、全粒粉パン、高繊維パン、雑穀ブレンドなどで、非デンプン性多糖に起因する生地課題を調整するための実用的な酵素ツールとして位置づけられます。

Xylanase Enzyme For Bread Making - 5,500 U/G Powder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 Enzyme For Bread Making - 5,500 U/G Powder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. Zhang, Y., Liu, X., Liu, M., Han, L., Zhao, D., Rao, H., Zhao, X., ... et al. (2025). Enzymatic modification of whole wheat dough gluten matrix development and bread quality by a novel wheat arabino-xylanase from *Podospora comata* with its properties and substrate specificity mechanism. *International Journal of Biological Macromolecules*, 142860 .
2. 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*.
3. Xue, Y., Cui, X., Zhang, Z., Zhou, T., Gao, R., Li, Y., & Ding, X. (2019). Effect of β -endoxyxylanase and α -arabinofuranosidase enzymatic hydrolysis on nutritional and technological properties of wheat brans. *Food Chemistry*, 302, 125332 .
4. Kumar, V., & Shukla, P. (2016). Functional Aspects of Xylanases Toward Industrial Applications.
5. Döring, C., Hussein, M., Jekle, M., & Becker, T. (2017). On the assessments of arabinoxylan localization and enzymatic modifications for enhanced protein networking and its structural impact on rye dough and bread. *Food Chemistry*, 229, 178-187 .

6. Sheikholeslami, Z., Mahfouzi, M., Karimi, M., & Ghiafehdavoodi, M. (2021). Modification of dough characteristics and baking quality based on whole wheat flour by enzymes and emulsifiers supplementation. *Lwt - Food Science and Technology*, 139, 110794.
7. Baratto, C., Becker, N., Gelinski, J. N., & Silveira, S. M. (2016). Influence of enzymes and ascorbic acid on dough rheology and wheat bread quality. *African Journal of Biotechnology*, 15, 55-61.
8. Monterde, V., Janssen, F., Verma, U., Cardinaels, R., Verboven, P., Nicolai, B. M., & Wouters, A. (2024). Impact of compositionally diverse cereal flour water extracts on the gas cell size distribution and extensional rheology of model gluten-starch doughs. *Food Research International*, 197 Pt 1, 115239 .
9. Hmad, I. B., Ghribi, A. M., Bouassida, M., Ayadi, W., Besbes, S., Châabouni, S., & Gargouri, A. (2024). Combined effects of α -amylase, xylanase, and cellulase coproduced by *Stachybotrys microspora* on dough properties and bread quality as a bread improver. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134391 .
10. Zong, M., Wang, J., Wu, T., Ma, W., Kang, J., & Wang, J. (2026). Xylanase/ β -Glucanase Synergy: Enhancing Dough Structure and Bread Quality in Highland Barley–Wheat Blend. *Foods*, 15.
11. Tozatti, P., Hopkins, E. J., Briggs, C., Hucl, P., & Nickerson, M. (2019). Effect of chemical oxidizers and enzymatic treatments on the rheology of dough prepared from five different wheat cultivars. *Journal of Cereal Science*.
12. Banu, I., Măcelaru, I., & Aprodu, I. (2017). Bioprocessing for Improving the Rheological Properties of Dough and Quality of the Wheat Bread Supplemented with Oat Bran. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41.
13. Alshehri, W., Alharbi, E. M., Hadrich, B., Khalel, A. F., Alqahtani, F. S., Almulaiky, Y. Q., & Sayari, A. (2025). Enhancing the Production of Thermostable *Mangrovibacter plantisponsor* Xylanase for Application in Breadmaking. *Catalysts*.
14. Nam, K. H. (2024). pH-Induced structural changes in xylanase GH11 from *Thermoanaerobacterium saccharolyticum*. *F1000Research*.
15. Karaoğlu, H., Ramadan, K. M. A., hashedi, S. A. A., Alshoaibi, A., Iqbal, Z., Aydın, R., Secgin, B. A., ... et al. (2025). Selection, heterologous production, and functional characterization of a thermostable xylanase from *Anoxybacillus* for dough and bread quality enhancement. *International Journal of Biological Macromolecules*, 144000 .
16. Hu, G., Hong, X., Zhu, M., Lei, L., Han, Z., Meng, Y., & Yang, J. (2024). Improving the Quality of Wheat Flour Bread by a Thermophilic Xylanase with Ultra Activity and Stability Reconstructed by Ancestral Sequence and Computational-Aided Analysis. *Molecules*, 29.
17. Lewko, P., Wójtowicz, A., & Gancarz, M. (2024). Application of Conventional and Hybrid Thermal-Enzymatic Modified Wheat Flours as Clean Label Bread Improvers. *Applied Sciences*.
18. Hassan, M. A., Abdelshafy, A., Hussien, S., Sorour, M. A., & Mahmoud, E. A. (2025). Improving Wheat Bran Properties Using Potential Bioprocesses for Application in Functional Bread Production. *Food Safety and Health*, 3.

19. Fathi, M., Samanian, N., & Samanian, M. (2026). Development of a Functional Whole Wheat Flour for Pizza Dough: Nutritional Enhancement and Rheological Optimization. *Journal of Food Science*, 91 4, e71076 .

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](tel:+15074286057)

[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。