

キシラナーゼ（Xylanase）植物抽出用：ボタニカルエキスの粘度低下・細胞壁前処理を支援する酵素

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

キシラナーゼは、植物細胞壁のヘミセルロース成分であるキシラン、アラビノキシランを部分分解し、抽出スラリーの粘度低下、溶媒浸透、固液分離を助ける植物抽出用酵素です。ボタニカルエキス製造では、目的成分を直接「生成」する酵素というより、細胞壁マトリックスをゆるめてポリフェノール、多糖、油脂、香気関連成分などの移行を支援する前処理酵素として使われます。効果は原料の細胞壁組成、粒度、水分、溶媒、温度帯、後工程に依存しますが、植物多糖や植物細胞の酵素前処理に関する研究は、抽出効率と工程性を改善する考え方を支持しています^[1]。

植物抽出でキシラナーゼが使われる理由

植物抽出の難しさは、目的成分が存在すること自体ではなく、その成分が細胞壁、細胞間層、細胞内小器官、デンプン・タンパク質・脂質複合体、または多糖ネットワークの内側に保持されている点にあります。葉、穀皮、種子、果皮、根、茎、ハーブ残渣では、粉碎しても細胞壁断片が水を抱え込み、スラリー粘度が上がり、濾過ケーキが締まりにくく、遠心分離や圧搾の負荷が大きくなることがあります。抽出方法の違いが植物多糖の分子組成や抗酸化活性に影響することは、若い裸麦葉多糖の研究でも示されており、抽出工程そのものが最終品質の一部になります^[2]。

キシラナーゼの役割は、この工程上の障壁のうち、キシラン系ヘミセルロースに由来する粘性と細胞壁の緻密性を下げることです。特にイネ科穀物、ふすま、外皮、茶・ハーブ系葉材、油糧種子ミール、果皮残渣では、セルロース骨格の周囲にアラビノキシランや置換キシランが存在し、これが水和、膨潤、溶媒移動、微細粒子の凝集挙動に関与します。小麦ふすまからオリゴ糖を得る研究では、キシラナーゼ処理がアラビノキシラン由来成分の抽出に使われており、植物副産物を価値ある水溶性画分へ変換する酵素的アプローチとして位置づけられています^[3]。

ボタニカル抽出で期待される実務効果は、抽出収率だけではありません。低粘度化による攪拌効率の向上、ポンプ移送性の改善、濾過時間の短縮、フィルター目詰まりの低減、抽出温度や抽出時間の過度な上昇を避ける工程設計にも関係します。果汁清澄分野では、キシラナーゼが植物由来多糖の分解を通じて濁りや粘性に関わる工程性を改善する候補として検討されており、植物抽出液の扱いやすさを高めるという発想と近い技術基盤を持ちます^[4]。

作用機序：キシラン骨格を切り、細胞壁の「水を抱える網」をほどく

キシランは、主に β -1,4結合したキシロース骨格を持つヘミセルロースです。植物種によって、アラビノース、グルクロン酸、アセチル基、フェルラ酸などの側鎖や置換基が加わり、アラビノキシラン、グルクロノキシラン、アセチル化キシランなどとして存在します。キシラナーゼはこのキシラン主鎖を内部から切断し、長い高分子を短いオリゴ糖断片へ変えるため、分子量低下、水和状態の変化、細胞壁マトリックスの緩和が起こります^[5]。

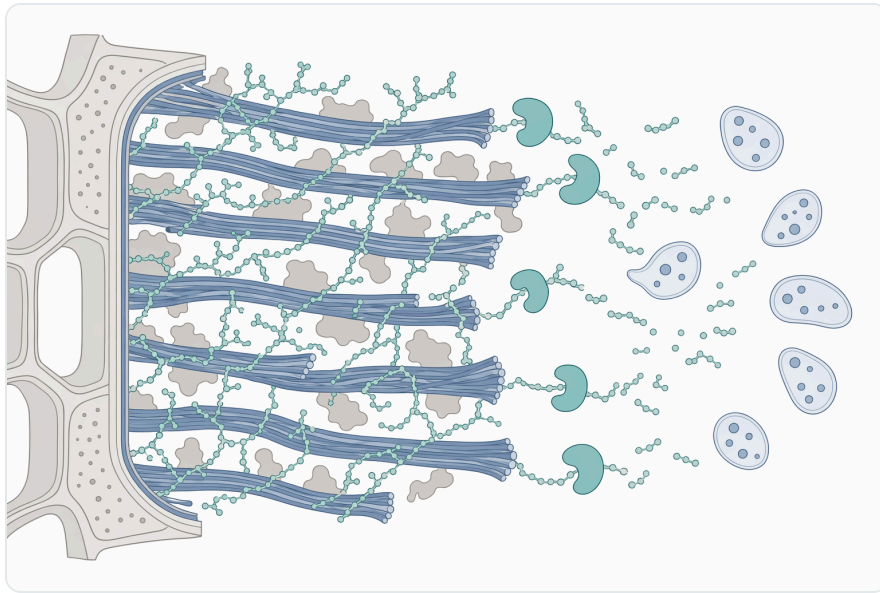


Figure 1. 자일라나아제는 헤미셀룰로오스가 풍부한 세포벽에서 접근 가능한 자일란을 가수분해하여 식물 추출을 개선하고, 그 결과 감혀 있거나 세포벽에 결합된 성분과 용매의 접촉이 증가합니다.

アラビノキシランが多い原料では、主鎖切断だけでなく、側鎖の存在が酵素アクセスを左右します。イネ科細胞壁ではフェルラ酸化されたアラビノキシラン側鎖が架橋構造に関与し、細胞壁の強度や酵素分解性に影響します。フェルロイル化アラビノキシラン側鎖の定量研究は、穀類細胞壁が単純なキシラン鎖ではなく、置換と架橋を伴う複合構造であることを示しており、植物抽出で反応性が原料ごとに変わる理由を説明します^[6]。

また、植物多糖のアセチル化も酵素処理の進み方に影響します。微生物由来の炭水化物エステラーゼは植物多糖の脱アセチル化に関与し、キシラン系多糖の構造と分解性を変えることが知られています。これは、キシラナーゼ単独で十分な場合と、他の細胞壁分解酵素との組み合わせが有利になる場合を分ける重要な構造的背景です^[7]。

ボタニカル有効成分の抽出における位置づけ

植物由来の有効成分には、フラボノイド、カテキン、アントシアニン、フェノール酸、多糖、精油成分、植物ガム、油脂、タンパク質など、多様な化学群があります。これらは溶媒への溶けやすさだけでなく、細胞壁の破壊度、細胞内での局在、タンパク質や多糖との結合、酸化しやすさにより抽出挙動が変わります。フラボノイド抽出では、従来法に加えて環境負荷を下げる抽出・精製アプローチが検討されており、酵素前処理は「強い化学処理だけに頼らない」工程設計の一部として理解できます^[8]。

例えば、月桂樹葉の生理活性成分抽出では、酵素補助抽出が検討され、植物組織を酵素的に処理して抽出性を高める考え方が示されています。キシラナーゼはこの中で、葉組織や細胞壁中のヘミセルロース障壁を弱め、溶媒の浸透や可溶化を助ける酵素として位置づけられます^[9]。

茶葉カテキンの抽出では、抽出溶媒、温度、時間、精製段階が品質と収率に影響します。茶葉のようにポリフェノール酸化や渋味成分の共抽出が問題になりやすい原料では、キシラナーゼ処理によって細胞壁を穏やかに緩め、過度な熱や長時間抽出への依存を下げる設計が検討対象になります。ただし、カテキン自体をキシラナーゼが合成・変換するわけではなく、あくまで移行環境を整える工程補助です^[10]。

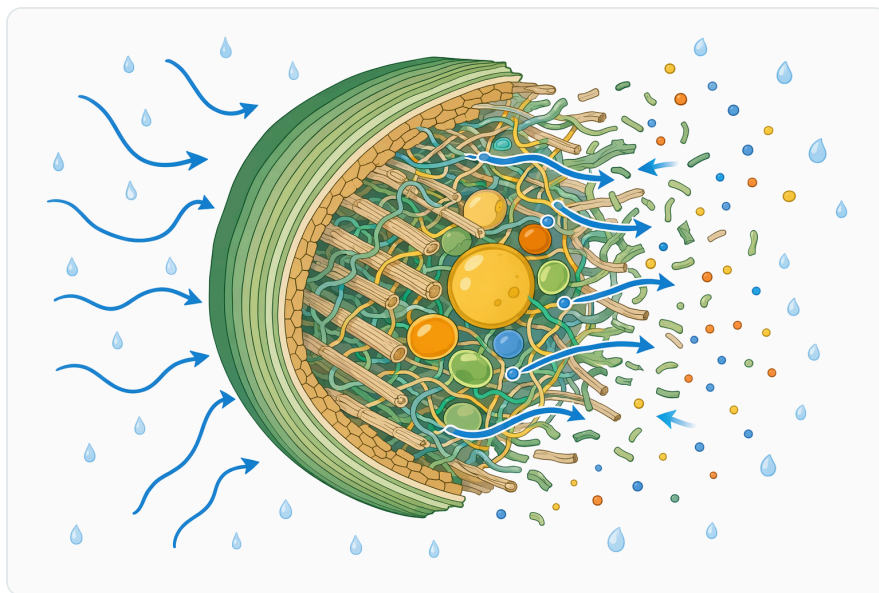


Figure 2. 식물 세포벽은 섬유질 입자에서 용해된 화합물이 젖고, 확산되며, 밖으로 이동하는 과정을 제한해 추출 속도를 늦출 수 있습니다.

アントシアニンやフェノール性成分では、色素安定性、pH、酸化、温度が大きく関与します。*Clitoria ternatea*のアントシアニンおよびフェノール化合物抽出では、マイクロ波と酵素加水分解を組み合わせた条件最適化が扱われており、物理的処理と酵素処理の併用が植物細胞壁へのアクセス改善に使われることを示しています^[11]。

原料別に見たキシラナーゼの適性

キシラナーゼの適性は、「植物であるかどうか」ではなく「キシラン系ヘミセルロースが工程の障壁になっているか」で判断されます。穀類ふすま、麦芽副産物、米ぬか、とうもろこし外皮、油糧種子ミール、繊維質の葉材では候補になりやすい一方、ペクチンが主因の果実ピューレ、デンプン糊化が主因の根茎スラリー、タンパク質凝集が主因の搾汁残渣では、単独効果が限定的な場合があります。植物細胞の酵素前処理による油抽出では、細胞壁破壊と油体放出が重要であり、基質構造に応じた酵素選択が必要とされています^[1]。

原料・工程タイプ	キシラナーゼが効きやすい理由	主に期待される効果	注意すべき限界
小麦ふすま、大麦外皮、米ぬかなどの穀類副産物	アラビノキシランが多く、水和性と粘度に関与	粘度低下、可溶性オリゴ糖画分の増加、濾過性改善	フェルラ酸架橋やリグニンが強いと反応が進みにくい
ハーブ葉、茶葉、若葉粉末	細胞壁多糖がポリフェノールや色素の溶出を妨げる	溶媒浸透、抽出時間の短縮、固液分離改善	酸化しやすい成分では温度・時間管理が重要
果皮、搾汁残渣、アップルポマス	ヘミセルロースとペクチンが複合して保水性を高める	スラリー流動性改善、後段抽出の補助	ペクチン主因の場合はペクチナーゼが中心になることが多い
油糧種子、種子ミール、茶種子など	細胞壁が油体・タンパク質の放出を妨げる	油脂・タンパク質画分へのアクセス改善	セルロース、タンパク質、デンプンの寄与も大きい
果汁・植物性飲料の清澄	水溶性多糖が濁り、粘度、濾過性に関与	清澄化、濾過負荷低下、口当たり調整	ペクチン、タンパク質、フェノール複合体も濁り要因

大麦ふすまや外皮のような食品副産物は、食物繊維、フェノール性成分、ミネラルなどの利用価値が注目されており、抽出・分画技術の改善が付加価値化につながります。キシラナーゼは、このような穀類副産物でアラビノキシランを低分子化し、抽出液の取り扱い性を上げる用途に適しています^[12]。

アップルポマスや果皮残渣では、ペクチン、セルロース、ヘミセルロースが複合しており、キシラナーゼは単独の主役というより、ペクチナーゼやセルラーゼ系処理を補完する役割になります。リンゴ搾汁残渣の持続的利用に関するレビューでは、抽出、食品用途、バイオマテリアル化など複数の価値化経路が示されており、細胞壁多糖の制御が副産物利用の重要点になります^[13]。

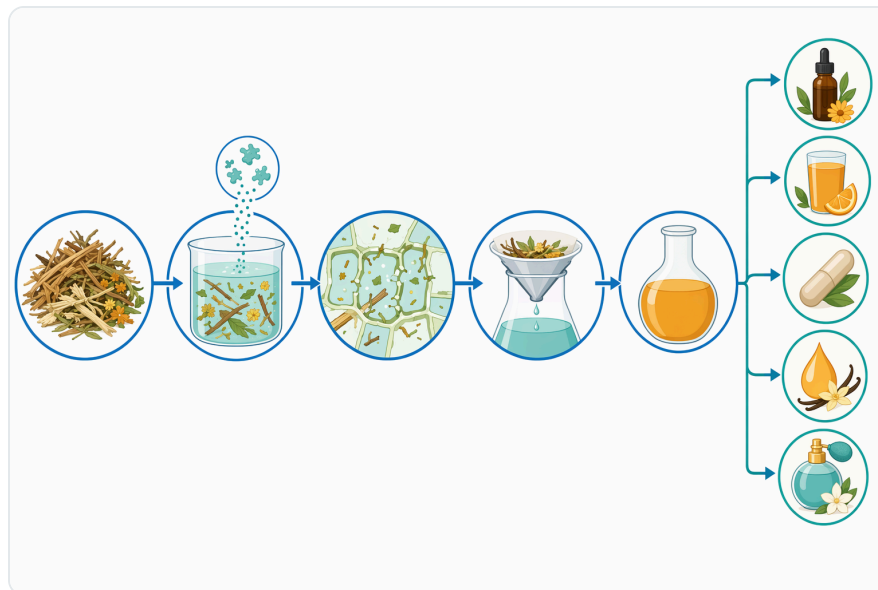


Figure 3. 일반적인 효소 보조 식물 추출 공정은 분쇄한 바이오매스를 수화하고, 자일라나아제를 분산시킨 뒤, 적합한 조건에서 슬러리를 유지한 다음, 고형물로부터 추출물을 분리합니다.

柑橘果皮からD-リモネンなどの成分を得る場合、主目的は精油成分であっても、果皮構造、油胞、ペクチン質、多糖マトリックスが放出挙動に影響します。キシラナーゼはリモネンを生成する酵素ではありませんが、他の細胞壁処理と組み合わせた前処理として、果皮組織の開放性を高める候補になります^[14]。

他の細胞壁酵素との違い

植物抽出で使われる酵素は、標的多糖が異なります。キシラナーゼはキシラン系ヘミセルロースに特化しており、ペクチナーゼ、セルラーゼ、ヘミセルラーゼ複合系、プロテアーゼ、アミラーゼとは役割が異なります。油糧種子や植物細胞の酵素前処理では、細胞壁の主要障壁に合わせて酵素を選ぶ必要があり、単一酵素ではなく複数の酵素作用が工程全体に寄与することがあります^[1]。

酵素	主な標的	植物抽出での主な効果	キシラナーゼとの関係
キシラナーゼ	キシラン、アラビノキシラン	粘度低下、ヘミセルロース網の緩和、濾過性改善	穀類・外皮・葉材で中心になりやすい
セルラーゼ	セルロース	細胞壁骨格の緩和、組織崩壊補助	硬い繊維質原料では併用候補
ペクチナーゼ	ペクチン	果実・果皮の粘度低下、清澄化	果実系ではキシラナーゼより主効果を持つ場合がある

酵素	主な標的	植物抽出での主な効果	キシラナーゼとの関係
プロテアーゼ	タンパク質	タンパク質結合成分の放出、沈殿性調整	油糧種子・葉タンパク質抽出で補完的
アミラーゼ	デンプン	糊化・粘度上昇の抑制、糖化	根茎・穀粉スラリーで別課題を処理

茶種子油の抽出ではセルラーゼを用いた条件検討が報告されており、細胞壁を酵素的に弱めることで油脂回収を支援する発想が示されています。キシラナーゼはセルラーゼと同じではありませんが、種子外皮やミール中のヘミセルロース障壁を扱う点で、油脂抽出前処理の一部として検討できます^[15]。

ひまわり加工副産物からのタンパク質抽出でも、酵素処理は細胞壁やマトリックスを緩め、タンパク質画分へのアクセスを高める技術として扱われています。キシラナーゼはタンパク質を分解しませんが、ヘミセルロース網をほどくことで、プロテアーゼや水抽出が届きやすい構造をつくる補助になり得ます^[16]。

工程への組み込み方：前処理、同時処理、後段の分離性改善

キシラナーゼは、粉碎後の植物原料を水または含水溶媒で湿潤させ、酵素が細胞壁多糖へ接触できる状態で使われます。乾いた粉末のままでは酵素の拡散が進みにくいため、実務上は浸漬、攪拌、温和な加温、粒度調整と組み合わせて、固体表面と内部細胞壁へのアクセスを高めます。マイクロ波で細胞壁に多孔性を与え、酵素アクセスを改善して油体やタンパク質収率を高める研究は、物理的前処理と酵素処理の相乗性を理解するうえで参考になります^[17]。

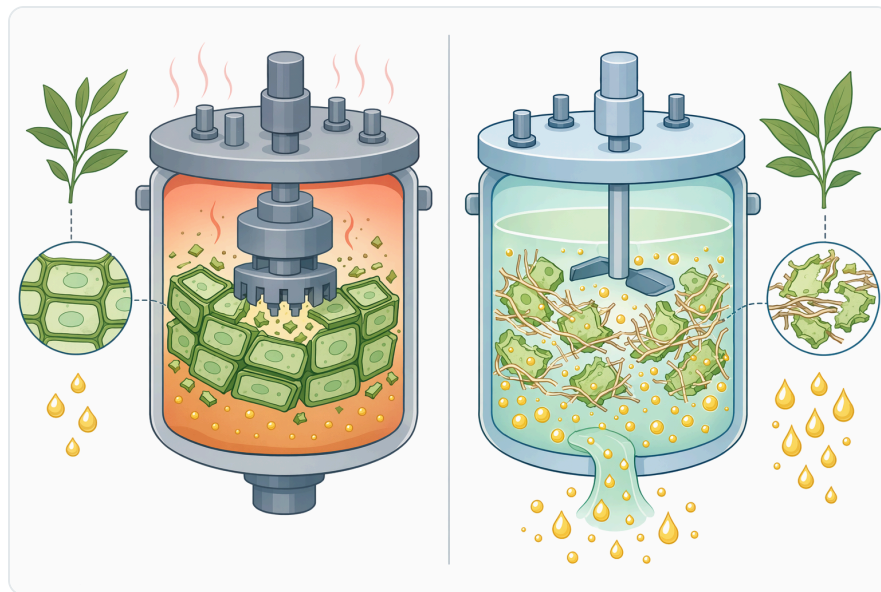


Figure 4. 자일라나아제, 셀룰라아제, 펙티나아제, β -글루카나아제, 보조 에스터라아제는 서로 다른 세포벽 고분자를 표적으로 하므로 각기 다른 추출 장벽을 해결합니다.

抽出工程では、キシラナーゼ処理を主抽出の前に置く場合と、抽出溶媒中で同時に進める場合があります。水抽出、含水エタノール抽出、植物性飲料の浸出、穀類副産物の可溶化、濾過前の粘度調整などでは、酵素反応と抽出を近い工程内で設計できます。一方、高濃度アルコール、極端なpH、強い加熱を伴う工程では、酵素タンパク質の構造が保ちにくくなるため、酵素処理を先に行ってから主抽出へ移る設計が一般に扱いやすくなります。

キシラナーゼの性質は由来や製品によって異なります。酸性条件に適したもの、低温でも反応しやすいもの、耐熱性を持つものなどが研究されており、酵素の温度・pH適性は「キシラナーゼ」という名称だけでは一律に決まりません。ラクダルーメンメタゲノム由来の酸性・耐塩性・低温適応型キシラナーゼや、耐熱性組換えキシラナーゼの研究は、同じ基質を扱う酵素でも工程適性が大きく異なることを示しています^{[18][19]}。

処理後は、目的に応じて加熱、pH調整、濾過、遠心分離、圧搾、濃縮、膜処理などへ進みます。酵素処理で高分子が低分子化すると、固液分離が改善する一方で、可溶性オリゴ糖や微細粒子が増え、膜負荷や後段精製に影響する場合があります。そのため、キシラナーゼは「抽出率を最大化する添加物」ではなく、「細胞壁由来の物性を制御する工程ツール」として扱うのが実務的です。

果汁・植物性飲料・清澄用途との接点

果汁や植物性飲料では、濁り、沈殿、粘度、口当たりが品質と処理性に直結します。Aspergillus tubingensis由来キシラナーゼを用いた果汁機能性改善の研究では、キシラナーゼが果汁中の多糖成分に作用し、清澄や機能性成分の利用性に関わる可能性が検討されています^[20]。



Figure 5. 자일라나아제는 겨, 껍질, 줄기, 수피, 뿌리, 종피, 과일 잔사, 풀류, 목질 부산물과 같은 섬유질 식물 원료에 가장 적합합니다.

*Cladophora hutchinsiae*由来キシラナーゼの研究でも、果汁清澄や飼料補助への応用可能性が扱われています。これは、ボタニカル抽出液の後段濾過、植物性飲料ベース、ハーブ抽出液の濁度制御に対して、キシラン系多糖の分解が工程性を改善し得ることを示す関連証拠です^[4]。

ただし、清澄性はキシランだけで決まるわけではありません。ペクチン、タンパク質、ポリフェノール、金属イオン、微細繊維、デンプン残渣が複合して濁りを作るため、キシラナーゼ単独で透明度や安定性を保証するものではありません。特に果実系ではペクチンの寄与が大きく、キシラナーゼはヘミセルロース由来の粘性や濾過性を補助的に調整する位置づけになります。

期待できる工程上の利点

第一の利点は、抽出スラリーの粘度低下です。高分子アラビノキシランが部分分解されると、水を抱えた長鎖多糖の絡み合いが弱まり、攪拌トルク、移送抵抗、濾過圧の上昇を抑えやすくなります。食品粉体の加工研究でも、キシラナーゼが穀粉系マトリックスの物性に影響することが示されており、アラビノキシラン分解が水和・流動・構造形成に関与することが分かります^[21]。

第二の利点は、細胞壁内に保持された成分へのアクセス改善です。植物活性物質は研究領域として拡大しており、食品、医薬、化粧品、農業資材など多様な応用が検討されていますが、抽出・標準化・安定化の工程設計が実用化の鍵になります^[22]。キシラナーゼ処理は、目的成分の化学的変換ではなく、溶媒が届く経路を増やすことで抽出の再現性を支えます。

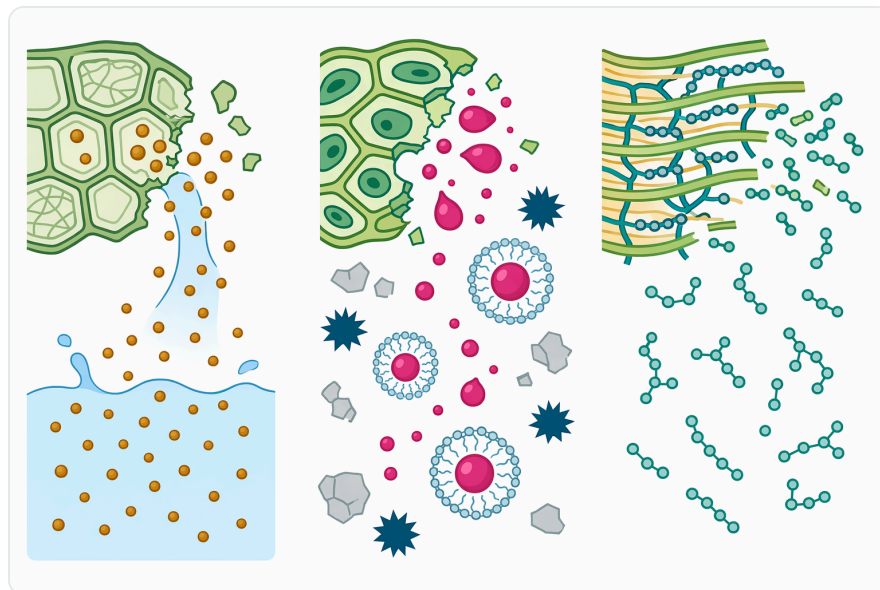


Figure 6. 자일라나아제는 헤미셀룰로오스가 풍부한 장벽을 열어 페놀성 화합물, 색소, 다당류 조각 및 기타 접근 가능한 식물 성분의 방출을 도울 수 있습니다.

第三の利点は、副産物利用との相性です。ふすま、外皮、搾汁残渣、種子粕などは廃棄物ではなく、多糖、ポリフェノール、タンパク質、油脂、香気成分を含む資源です。酵素処理は、強アルカリや強酸処理に比べて穏やかな条件を設計しやすく、食品・ニュートラシューティカル・化粧品原料の前処理として検討しやすい技術です。生物学的リグノセルロース前処理のレビューでも、酵素や微生物を利用した前処理は持続可能性の観点から注目されていますが、基質の複雑さと反応速度が課題として整理されています^[23]。

適用上の限界：万能な抽出促進剤ではない

キシラナーゼは、キシラン系ヘミセルロースを標的とする酵素です。したがって、ペクチンが主因の高粘度、セルロース繊維の強固な構造、デンプン糊化、タンパク質凝集、樹脂状成分、ワックス層、リグニンによる疎水的障壁などには、単独では十分に作用しない場合があります。植物ガムや天然多糖は構造、分岐、電荷、溶解性が多様であり、同じ「植物多糖」でも酵素反応性は大きく異なります^[24]。

また、目的成分の増加が常に望ましいとは限りません。細胞壁を強く分解すると、苦味、渋味、濁り、着色、低分子糖、オリゴ糖、金属イオン、タンパク質、微細粒子などの共抽出が増えることがあります。ロゼルのように有機酸、アントシアニン、多糖、フェノール性成分を含む植物では、機能性成分の取得と色調・酸味・安定性のバランスが重要であり、単純な抽出量だけでは品質を評価できません^[25]。

酵素処理の効果は、原料ロット差にも左右されます。収穫時期、乾燥条件、粉碎粒度、保管中の酸化、植物部位、品種、加工履歴によって細胞壁構造は変化します。したがって、キシラナーゼは工程の再現性を高める有力な手段ですが、特定の植物で特定成分が必ず増えること、また最終製品の生理活性が保証されることを意味しません。

Enzymes.bioからの供給について

Enzymes.bioは酵素製品のB2Bサプライヤーであり、製造業者または研究機関としてではなく、産業・食品加工用途の酵素をオンラインで供給する立場です。Xylanase For Botanical Extractionは、植物抽出工程の前処理、粘度調整、固液分離改善を目的とする酵素として、1 kg単位でオンライン直接販売されます。注文時には、該当製品のCoAおよびSDSが併せて提供されます。

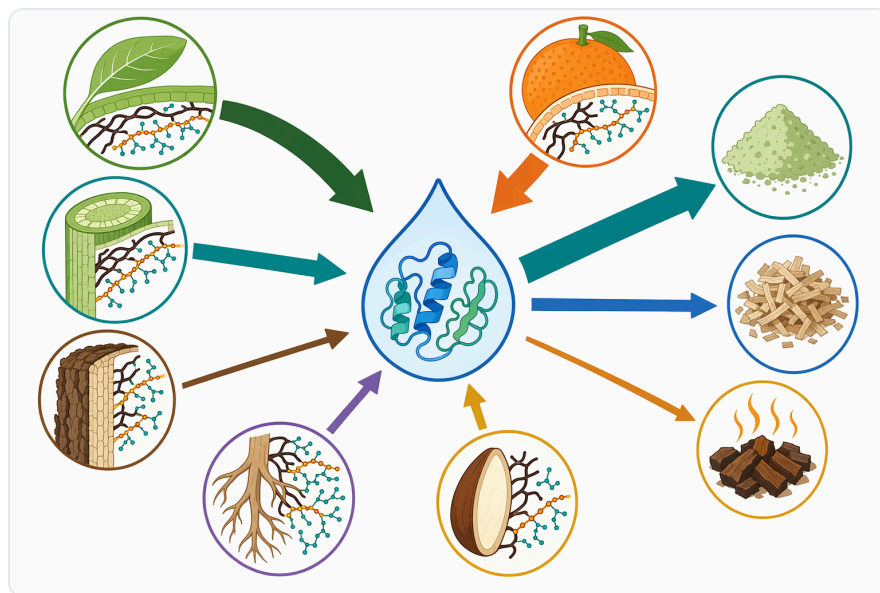


Figure 7. 자일라나아제의 반응은 자일란 함량, 치환 정도, 리그닌과의 결합, 식물 부위, 성숙도, 건조, 분쇄, 사전 열처리가 기질 접근성에 영향을 미치기 때문에 달라집니다.

本製品は、植物抽出、食品加工、植物性原料処理、研究開発から小規模生産・通常生産までの工程検討に使いやすい包装単位です。酵素の利用は、最終製品の用途、原料規格、表示、法規制、製造工程の品質管理に合わせて、使用者側の工程設計に組み込まれます。Enzymes.bioは供給者として、オンライン購入しやすい形で製品を提供しますが、特定の植物エキスの薬理効果や最終用途での性能を保証するものではありません。

まとめ

キシラナーゼ植物抽出用酵素は、植物細胞壁中のキシランおよびアラビノキシランを部分分解し、ボタニカル抽出の粘度、溶媒浸透、濾過性、固液分離性を改善するための工程補助酵素です。特に穀類副産物、葉材、ハーブ、果皮残渣、油糧種子ミールのようにヘミセルロースが工程性を左右する原料で有用性が高く、ポリフェノール、多糖、油脂、香気関連成分などの抽出環境を整える技術として活用できます。

一方で、キシラナーゼは万能ではありません。ペクチン、セルロース、デンプン、タンパク質、リグニン、ワックスが主障壁となる場合には、単独効果が限定的になり、他の酵素や物理的前処理との組み合わせが現実的です。植物抽出の成果は、原料組成と工程条件に強く依存するため、キシラナーゼは「目的成分を直接作る成分」ではなく、「細胞壁由来の抵抗を下げ、抽出工程を扱いやすくする酵素」として位置づけるのが最も正確です。Enzymes.bioのXylanase For Botanical Extractionは、1 kg単位でオンライン購入でき、注文時にCoAとSDSが提供されるB2B向け酵素製品です。

Xylanase For Botanical Extraction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 For Botanical Extraction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. Vovk, H., Karnpakdee, K., Ludwig, R., & Nosenko, T. (2023). Enzymatic Pretreatment of Plant Cells for Oil Extraction. *Food Technology and Biotechnology*, 61, 160 - 178.
2. Wang, M., Zhang, C., Xu, Y., Ma, M., Yao, T., & Sui, Z. (2023). Impact of Six Extraction Methods on Molecular Composition and Antioxidant Activity of Polysaccharides from Young Hulless Barley Leaves. *Foods*, 12.
3. Zhao, Y., Li, X., Guo, S., Xu, J., Cui, Y., Zheng, M., & Liu, J. (2023). Thermodynamics and Physicochemical Properties of Immobilized Maleic Anhydride-Modified Xylanase and Its Application in the Extraction of Oligosaccharides from Wheat Bran. *Foods*, 12.

4. Tuncay, F. O., Cakmak, U., & Kolcuoğlu, Y. (2023). Aqueous two-phase extraction and characterization of thermotolerant alkaliphilic *Cladophora hutchinsiae* xylanase: biochemical properties and potential applications in fruit juice clarification and fish feed supplementation. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 54, 553 - 563.
5. Carla, L. D. T., & Marina, K. K. (2017). Thermostable xylanase from thermophilic fungi: Biochemical properties and industrial applications. *African Journal of Microbiology Research*, 11, 28-37.
6. Schendel, R., Meyer, M. R., & Bunzel, M. (2016). Quantitative Profiling of Feruloylated Arabinoxylan Side-Chains from Graminaceous Cell Walls. *Frontiers in Plant Science*, 6.
7. Biely, P. (2012). Microbial carbohydrate esterases deacetylating plant polysaccharides. *Biotechnology Advances*, 30 6, 1575-88 .
8. Farooq, U., Nadeem, L., Nangdev, P., Mahmood, T., & Moqaddas, A. (2024). Green Approach to Novel Flavonoid Extraction: Purification Methods and Therapeutic Benefits for Optimizing Health and Wellness Initiatives. *Journal of Health and Rehabilitation Research*.
9. Boulila, A., Hassen, I., Haouari, L., Mejri, F., Amor, I. B., Casabianca, H., & Hosni, K. (2015). Enzyme-assisted extraction of bioactive compounds from bay leaves (*Laurus nobilis* L.). *Industrial Crops and Products*, 74, 485-493.
10. Cioancă, O., Lungu, I., Mita-Baciu, I., Robu, S., Burlec, A. F., Hăncianu, M., & Crivoi, F. (2024). Extraction and Purification of Catechins from Tea Leaves: An Overview of Methods, Advantages, and Disadvantages. *Separations*.
11. Nguyen, K. D., Nguyen, N., & Dong, T. A. D. (2025). Optimization of Extraction Conditions for Anthocyanin and Phenolic Compounds From *Clitoria ternatea* L. Assisted by Microwave and Enzyme Hydrolysis. *Journal of food biochemistry*.
12. Hu, X., & Gilbert, R. G. (2025). Value Adding to Barley Byproducts: A Perspective of Bran and Husk in the Food Industry. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24 6, e70316 .
13. Vydani, K., Sri, T., Karri, S., Nemala, N. S., Vanaja, S., Sadanala, D., & Ganta, B. (2026). A Review on Extraction, Multi-Industrial Applications and Sustainable Valorization of Apple Pomace. *Journal of Pharma Insights and Research*.
14. Humaida, S., Alhussein, A., & Deifalla, M. (2026). Extraction, Chemical Analysis, and Therapeutic Potential of D-Limonene from Citrus Peels: A Comprehensive Review. *Science Discovery Chemistry*.
15. Yang, S., & Yu, T. (2025). Optimization of Conditions for the Extraction of Tea Seed Oil Using Cellulase and Analysis of the Tea Seed Oil. *Frontiers in Sustainable Development*.
16. Krylova, I., & Fedorov, A. V. (2025). Enzymatic protein extraction from sunflower processing products. *Processes and Food Production Equipment*.
17. Guo, X., Bi-Wu, Jiang, Y., Zhang, Y., Jiao, B., & Wang, Q. (2023). Improving enzyme accessibility in the aqueous enzymatic extraction process by microwave-induced porous cell walls to increase oil body and protein yields. *Food Hydrocolloids*.
18. Vangah, S. J., Kermani, A. A., Vali, H., Noghabi, K. A., & Zahiri, H. (2025). Engineering *Saccharomyces cerevisiae* for the secretion of an acidic, halotolerant, and cold-adapted xylanase derived from the

camel rumen metagenome: Enzyme characterization and strain assessment.. *International Journal of Biological Macromolecules*, 148805 .

19. Akpınar, Z., & Karaoğlu, H. (2024). Characterization of a highly thermostable recombinant xylanase from *Anoxybacillus ayderensis*.. *Protein Expression and Purification*, 106478 .
20. Ristović, M., Stojanović, S., Pavlović, M., Margetić, A., Slavić, M. Š., Dojnov, B., & Vujčić, Z. (2025). Enhancing functional properties of fruit juices with highly active xylanase from *Aspergillus tubingensis* FAT35. *The Journal of the Science of Food and Agriculture*, 106.
21. Yegin, S., Altinel, B., & Tuluk, K. (2024). Exploitation of *Aureobasidium pullulans* NRRL Y-2311-1 xylanase in mulberry and rice flours-based gluten-free cookie formulation: Effects on dough properties and cookie characteristics.. *Journal of Food Science*.
22. Feldmann, F., Pandey, A., Rajabpour, A., Stadnik, M., & Matyjaszyk, E. (2023). Botanical active substances: a prospering field of research. *Journal of plant diseases and protection*, 130, 439-441.
23. Chen, S., Zhang, X., Singh, D., Yu, H., & Yang, X. (2010). Biological pretreatment of lignocellulosics: potential, progress and challenges. *Biofuels*, 1, 177 - 199.
24. Hamdani, A. M., Wani, I. A., & Bhat, N. A. (2019). Sources, structure, properties and health benefits of plant gums: A review.. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 46-61 .
25. Chew, L., Teng, S., Neo, Y., Sim, Y. Y., & Chew, S. (2024). The Potential of Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) Plant in Industrial Applications: A Promising Source of Functional Compounds.. *Journal of Oleo Science*, 73 3, 275-292 .

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。