

Food-Grade Pectinase For Plant Extraction：植物抽出向け食品用ペクチナーゼの作用機序・用途・工程上の利点

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

Food-Grade Pectinase For Plant Extractionは、植物原料のペクチン質を酵素的に分解し、細胞壁と細胞間層をゆるめることで、抽出液の粘度低減、固液分離性の改善、果実・葉・根・果皮・搾汁残渣からの成分放出を支援する食品用途向けペクチナーゼです。ペクチナーゼ処理は、果汁加工での清澄化、搾汁、ろ過性改善に広く応用されており、同じ細胞壁分解の考え方は植物エキス、ハーブ抽出、果実副産物の有効利用にも展開できます^[1]。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。本製品は1kg単位でオンライン購入でき、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

植物抽出でペクチナーゼが使われる理由

植物抽出では、目的成分の溶解性だけでなく、原料の細胞壁構造が回収効率と工程性を大きく左右します。果実、果皮、葉、根、ハーブ、種子周辺組織、搾汁残渣などは、セルロース、ヘミセルロース、ペクチン、タンパク質、リグニンなどを含む複合構造を持ち、ペクチンはその中で細胞間接着、ゲル形成、保水、懸濁安定性に関わる重要な多糖です。植物細胞壁の酵素的分解では、単に壁を「壊す」のではなく、壁ポリマー同士の相互作用を段階的にほどこき、溶媒や水が組織内部へ入りやすい状態を作ることが重要になります^[2]。

ペクチンが多い原料では、粉碎後のスラリーが粘くなり、攪拌しにくく、ポンプ移送、圧搾、遠心分離、膜ろ過、濃縮の負荷が増えます。果汁分野の研究では、パパイヤ、梨、グアバ、シーバックソーンなどの果実加工において、ペクチナーゼ処理が物性、清澄性、抗酸化関連指標、保存性などに影響することが検討されています^[1]。植物抽出でも、粘度が高い、沈降が遅い、ろ材が目詰まりする、抽出液が濁る、加熱時間が延びるといった課題は、しばしばペクチン質と細胞壁多糖に由来します。

Food-Grade Pectinase For Plant Extractionの実務上の狙いは、「目的成分を化学的に作り変える」ことではなく、植物組織の構造的な障壁を下げることです。ペクチナーゼがペクチン鎖を切断すると、細胞間層の接着性が弱まり、マッシュや抽出スラリーの流動性が改善し、溶媒が細胞壁マトリックスへ入り込みやすくなります。果汁清澄化の研究では、ペクチナーゼ処理によって物理化学的性質と抗酸化能が変化することが報告されており、植物由来液体の加工性を調整する酵素としての位置付けが明確です^[3]。

作用機序：ペクチン分解が抽出性を改善する流れ

ペクチナーゼは単一酵素ではなく、ペクチン質を分解・修飾する酵素群の総称として扱われます。植物細胞壁中のペクチンは、ガラクトuron酸を多く含む主鎖領域、メチルエステル化された領域、側鎖を持つ分岐領域などからなる不均一な高分子です。グリコシド加水分解酵素や関連酵素は、植物細胞壁タンパク質群の中で多様な機能を担い、バイオマス変換や細胞壁改変に関係する可能性が整理されています^[4]。

植物抽出で特に重要なのは、ペクチン鎖の切断による分子量低下と、細胞間接着の緩和です。ポリガラクトuronナーゼ型の作用では、ペクチン主鎖のガラクトuron酸結合が加水分解され、粘性を持つ高分子ペクチンがより短い断片へ変わります。ペクチンリアーゼ型の作用では、特定のペクチン構造が脱離反応により切断されます。ペクチンエステラーゼ型の作用では、メチルエステル化されたペクチンの性質が変化し、他のペクチン分解反応やゲル形成挙動に影響します。これらの作用は、原料組織、pH、温度、ペクチンの状態によって相対的な寄与が異なります。

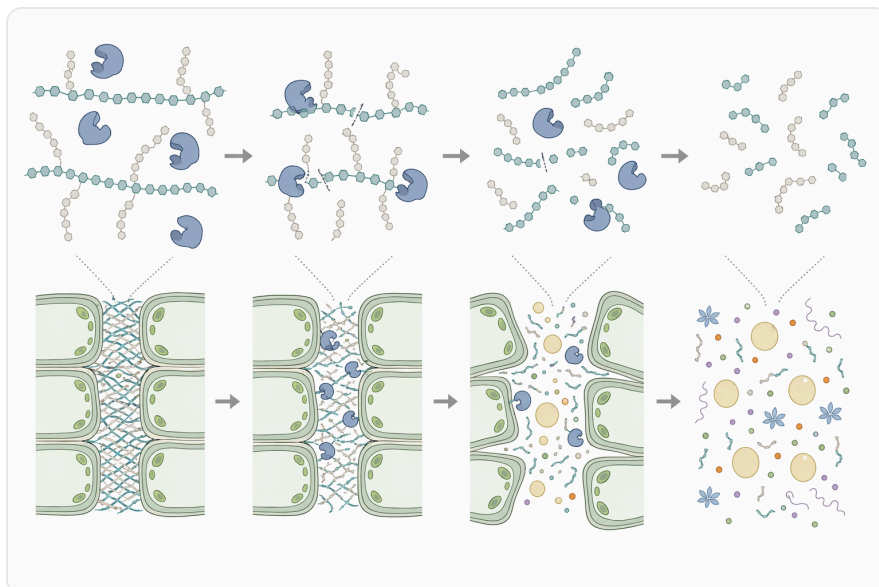


Figure 1. 펙티나아제는 펙틴이 풍부한 세포벽 물질을 해중합하여 식물 추출을 개선하며, 이로 인해 점도가 낮아지고 세포 간 부착이 약해지며 갇혀 있던 액체와 수용성 화합물의 방출이 촉진됩니다.

ペクチンが分解されると、抽出スラリーでは三つの変化が連鎖的に起こります。第一に、粘度が下がり、攪拌時のせん断が原料全体へ伝わりやすくなります。第二に、細胞間層がゆるみ、細胞壁内外の拡散距離が短くなります。第三に、懸濁していた微細粒子の凝集・沈降・ろ過挙動が変わり、固液分離工程を設計しやすくなります。植物細胞壁の分解では、ペクチンだけでなく、セルロース、ヘミセルロース、リグニンとの複合構造を理解することが必要であり、酵素加水分解の効率は壁成分の配置と結合状態に強く依存します^[2]。

このため、ペクチナーゼは「抽出溶媒を強くする」ための添加物ではなく、「植物組織を抽出しやすい物理状態へ変える」加工補助的な酵素として理解するのが正確です。たとえば、ポリフェノール、フラボノイド、色素、香気前駆体、水溶性多糖、果汁固形分などは、細胞壁内に閉じ込められていたり、壁マトリックスと相互作用していたりします。ブドウ搾りかすから抗酸化関連成分を酵素的に放出する研究では、植物副産物の細胞壁を酵素で処理することが、機能性成分の回収という観点から検討されています^[5]。

食品用植物抽出における主な工程課題とペクチナーゼの対応

工程上の課題	ペクチンが関与する理由	ペクチナーゼ処理で期待される工程変化	関連する根拠
抽出スラリーが粘い	高分子ペクチンが水を抱え、ゲル状・コロイド状のネットワークを作る	攪拌、移送、圧搾、遠心分離がしやすくなる	果汁加工で物性変化が検討されている ^[1]
搾汁・抽出液の歩留まりが低い	細胞間層が残り、液相が組織内に保持される	組織が軟化し、液相が外へ出やすくなる	梨ジュースの酵素支援抽出で物性・抗酸化性が評価されている ^[3]
ろ過が遅い、目詰まりする	ペクチンと微細粒子が濁りやコロイド安定性を保つ	清澄化、沈降、ろ過負荷の低減に寄与する可能性	シーバックソーンジュースでペクチナーゼ処理による物性変化が報告されている ^[6]
果皮・搾りかすからの成分回収が難しい	成分が細胞壁内または壁成分近傍に保持される	ポリフェノールや水溶性成分の放出を助ける	ブドウ搾りかすの抗酸化関連成分放出が研究されている ^[5]
植物副産物の利用価値を高めたい	副産物は細胞壁多糖が多く、直接抽出では扱いにくい	穏やかな前処理として有用成分回収へつなげやすい	サンザシ果実抽出で carbohydrase-assisted extraction が検討されている ^[7]

果汁加工から植物抽出へ応用できる知見

ペクチナーゼの最も分かりやすい応用領域は果汁加工です。果実マッシュでは、ペクチンが液相を保持し、濁りや粘性を生み、搾汁やろ過を妨げます。パパイヤジュースの研究では、酸性ブランチング水とペクチナーゼ前処理が物理化学的性質と抗酸化能に与える影響が検討されており、酵素処理が果実由来液体の品質指標を変化させる工程であることが示されています^[1]。

梨ジュースでは、William Bartlett品種を用いたペクチナーゼ支援抽出により、物理化学的性質と抗酸化特性が評価されています。これは、果実組織のペクチン分解が搾汁・抽出の工程性だけでなく、得られる液体の成分状態にも関わることを示す例です^[3]。植物抽出用途では、果汁そのものを目的にしない場合でも、果皮エキス、果実残渣抽出物、ベリー抽出物、ハーブ飲料ベースなどで同様の考え方を利用できます。

シーバックソーンジュースの研究では、ペクチナーゼ処理により主要な物理化学的性質と電気化学的フィンガープリントが変化することが報告されています^[6]。電気化学的フィンガープリントは、酸化還元性成分や複数成分の総合的な挙動を反映し得るため、ペクチナーゼ処理が単なる粘度低下にとどまらず、抽出液中の成分プロファイルへ影響し得ることを示唆します。ただし、これは原料と工程条件に依存するため、すべての植物原料で同じ方向の変化を予測することはできません。

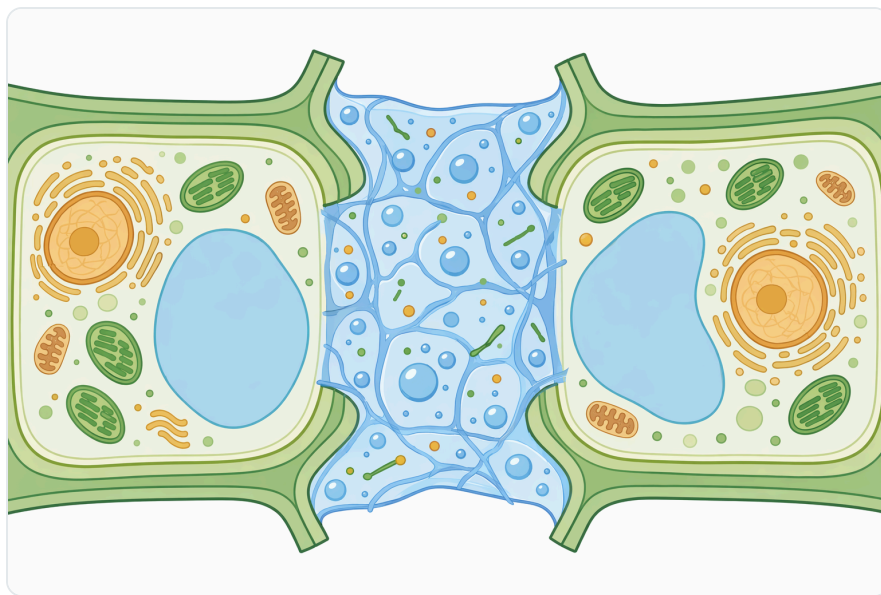


Figure 2. 중간층과 1차 세포벽의 수화된 펙틴은 물을 결합하고 미세 입자를 안정화하여 식물 추출물을 걸쭉하거나 탁하게 만들 수 있습니다.

グアバジュースでは、ペクチナーゼを用いて抽出したジュースの保存性に対する保存料の影響が検討されています^[8]。このような研究は、ペクチナーゼ処理後の液体が、清澄化、保存、配合、加熱、充填といった後工程へ接続されることを示しています。植物抽出でも、酵素反応後の抽出液は

濃縮、乾燥、混合、飲料化、粉末化などへ進むため、ペクチナーゼ処理は単独工程ではなく下流工程全体の設計要素として扱う必要があります。

植物エキス、ハーブ、果皮、搾汁残渣への適用イメージ

ハーブ、葉、根、花、果皮、種子周辺組織などの植物原料では、目的成分の多くが細胞内、液胞、細胞壁近傍、細胞間隙に分布しています。粉碎だけで十分に開放される原料もありますが、ペクチン質が多い場合や、細胞壁が厚い場合には、抽出液の粘性と濁りが工程を制限します。サンザシ果実を対象とした carbohydrase-assisted extraction の研究では、炭水化物分解酵素を活用した抽出がフェノール含量、抗酸化性、抗菌性と関連して評価されています^[7]。

果皮や搾汁残渣は、食品副産物として大量に発生しやすい一方、細胞壁多糖が多く、直接抽出では粘性や固液分離の問題が生じやすい素材です。ブドウ搾りかすの研究では、酵素的処理によって抗酸化関連成分を放出するアプローチが検討されており、ペクチンや他の細胞壁多糖を分解することが副産物利用に結びつく考え方を示しています^[5]。果皮由来のポリフェノール、色素、香味成分、可溶性食物繊維画分を扱う場合、ペクチナーゼ処理は抽出効率と工程操作性の両方に関与します。

植物性タンパク質や植物性食品素材の分野でも、抽出・改質・利用技術の組み合わせが重要になっています。近年の植物性タンパク質に関するレビューでは、抽出方法、改質方法、食品応用までを一体として捉える必要性が整理されています^[9]。ペクチナーゼはタンパク質分解酵素ではありませんが、植物組織中のペクチン質を緩めることで、タンパク質、可溶性糖、ポリフェノール、多糖などの抽出工程を補助する前処理として位置付けられます。



Figure 3. 펙티나아제, 셀룰라아제, 헤미셀룰라아제는 각각 서로 다른 식물 세포벽 고분자에 작용하므로, 복합적인 식물성 원료에서 나타나는 가공 효과도 다릅니다.

植物粘質物、いわゆる植物ムチレーズの抽出でも、細胞壁多糖、ペクチン、粘性多糖の挙動が工程性に直結します。植物ムチレーズの食品応用に関するレビューでは、抽出、機能特性、健康関連の利点が整理されており、植物由来多糖を取り出す際には粘度、保水、ゲル化、分散性が重要な品質要因になります^[10]。ペクチナーゼ処理は、粘性を下げたい場合には有効に働く可能性があります。ムチレーズ自体を目的成分として高分子状態で回収したい場合には、過剰な分解を避ける工程設計が必要です。

ペクチナーゼ単独で十分な場合と、他の細胞壁分解酵素が関わる場合

ペクチナーゼが最も適しているのは、ペクチンが粘度、濁り、細胞間接着、固液分離性の主因になっている原料です。果実、果皮、ベリー、リンゴ・柑橘系副産物、パパイヤ、梨、グアバ、シーバクソーンなどは、文献上もペクチナーゼ処理の対象として扱われています^[6]。このような素材では、ペクチンを切るだけで抽出スラリーの挙動が大きく変わることがあります。

一方で、細胞壁の主な制約がセルロース、ヘミセルロース、リグニン、タンパク質複合体である場合、ペクチナーゼだけでは限定的な効果にとどまる可能性があります。Aspergillus nigerおよびAspergillus terreusを用いたバナナ皮の固体発酵では、植物細胞壁分解酵素の生産が検討されており、植物廃棄物の分解には複数の酵素系が関わることを示されています^[11]。これは、植物抽出で観察される「ペクチナーゼを入れても粘度は下がるが、目的成分の回収は伸びにくい」といった現象を理解するうえでも役立ちます。

植物細胞壁をほぐす現象には、酵素だけでなく、壁ポリマーの力学的性質も関与します。植物細胞壁の緩みには、セルロース微繊維、マトリックス多糖、壁タンパク質、膨潤、pH、イオン環境などが関係し、エクспанシンのような細胞壁緩和因子も研究されています^[12]。ペクチナーゼはこの広い細胞壁緩和現象のうち、ペクチン質の切断・可溶化に焦点を当てた酵素ツールです。

繊維処理やバイオマス処理の研究も、食品用植物抽出とは目的が異なるものの、ペクチン分解の意義を補助的に理解するうえで参考になります。トウモロコシ外皮のレッティングでは、ペクチナーゼとアルカリ処理の組み合わせが繊維特性に与える影響が検討されています^[13]。ここで重要なのは、ペクチナーゼが植物組織の分離・解繊・脱ガムに関与し得るという共通原理であり、食品抽出ではそれをより穏やかな液相処理として応用する点です。

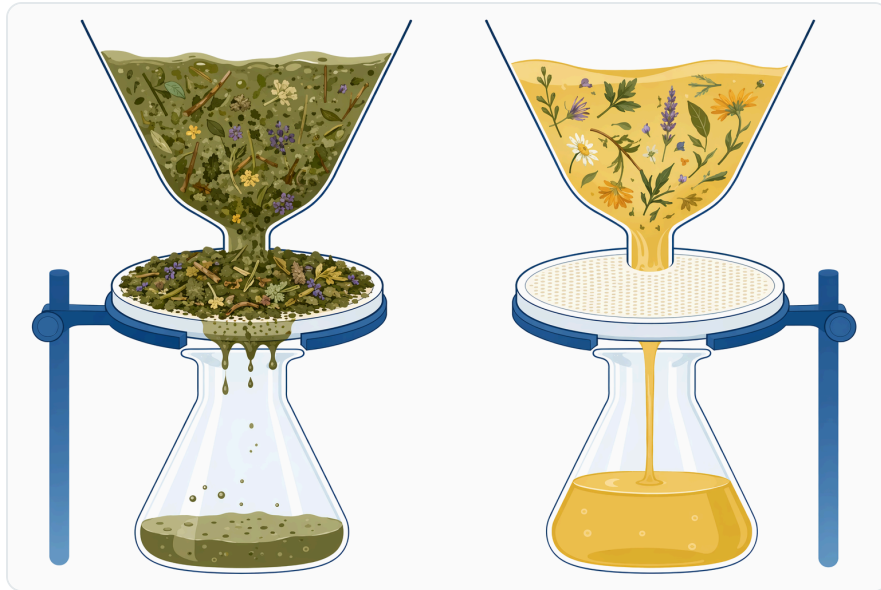


Figure 4. 펙틴 사슬을 짧게 절단함으로써 펙티나아제는 펙틴이 풍부한 식물성 액체의 청징을 개선하고 여과 저항을 줄일 수 있습니다.

工程条件を考える際の基本視点

Food-Grade Pectinase For Plant Extractionは、植物原料を水または食品用途に適した抽出液中で処理する工程に組み込まれます。一般的には、原料の洗浄、粉碎または細断、湿潤、温度調整、酵素添加、反応保持、固液分離、必要に応じた加熱または後処理という流れで使われます。ただし、ここで重要なのは、特定の条件を機械的に当てはめるのではなく、原料中のペクチンがどの程度工程を制限しているかを見極めることです。

反応条件は、目的成分の安定性に合わせて設計する必要があります。アントシアニン、香気成分、一部のフェノール酸、酸化されやすいポリフェノールなどは、温度、酸素、pH、金属イオン、保持時間の影響を受けます。没食子酸の食品応用に関するレビューでは、抗酸化成分の食品中での応用、安定性、バイオアベイラビリティ、相互作用が整理されており、植物抽出物を扱う際には成分そのものの反応性を考慮する必要があります^[14]。

酵素処理を強くしすぎると、工程性は改善しても、目的とするテクスチャー、濁り、食物繊維感、粘性、色調、味のバランスが変わることがあります。たとえば、ペクチン由来のボディ感を残したい飲料ベースでは、粘度を下げすぎると製品設計上の利点が失われる場合があります。逆に、ろ過や濃縮を重視する植物エキスでは、ペクチンを十分に切って粘度と濁りを下げることが有利になります。つまり、ペクチナーゼ処理の評価軸は「抽出量」だけではなく、流動性、清澄性、沈降性、膜負荷、濃縮性、最終用途での官能設計まで含みます。

また、植物には内在酵素が存在し、粉碎や加温によって予期しない反応が進むことがあります。食品加工では、熱処理、酸性化、酵素処理を組み合わせ、望ましい成分放出と不要な変化の抑制を両立させることがあります。パパイヤジュースの研究で酸性ブランチング水とペクチナーゼ前処理が組み合わされているように、酵素は単独で完結するものではなく、前処理と後処理を含む工程設計の中で効果を発揮します^[1]。

植物由来の抗酸化成分・フェノール類との関係

植物抽出では、ポリフェノール、フラボノイド、フェノール酸、色素、抗酸化関連成分を目的とすることが多くあります。これらの成分は、細胞内に可溶状態で存在するだけでなく、細胞壁成分と相互作用していたり、果皮・種子周辺組織に偏在していたりします。サトウキビ由来のフラボノイドとフェノール酸に関するレビューでは、これらの成分が植物内で部位ごとに分布し、加工中に変化し得ることが整理されています^[15]。

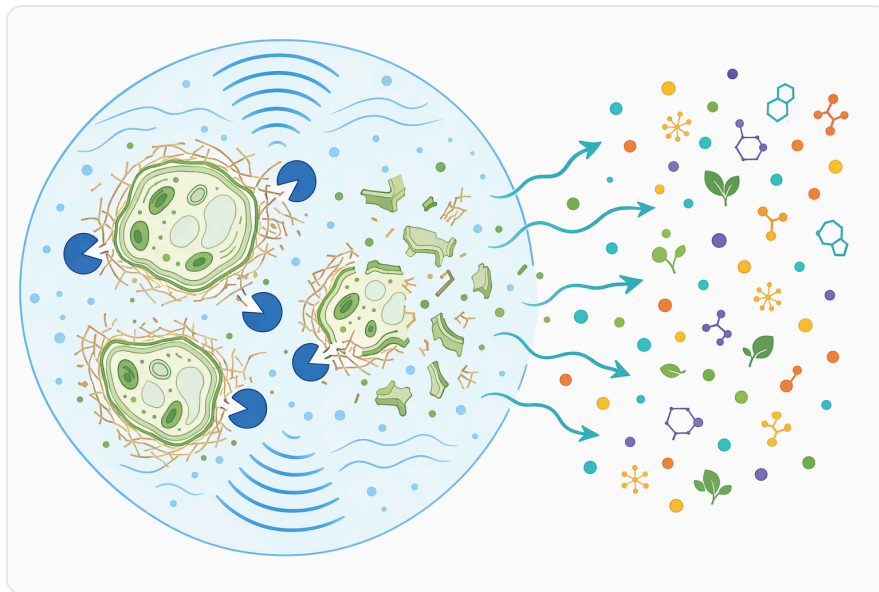


Figure 5. 물리적 추출과 효소 추출을 결합한 하이브리드 접근법은 물질 전달 개선과 식물 세포벽 고분자의 생화학적 절단을 함께 활용할 수 있습니다.

ペクチナーゼ処理は、細胞壁を緩めることで、フェノール類が溶媒相へ移行しやすい状態を作る可能性があります。ブドウ搾りかすから抗酸化関連成分を酵素的に放出する研究や、サンザシ果実の carbohydrase-assisted extraction の研究は、植物細胞壁分解と抗酸化性評価が結びつく典型例です^{[5][7]}。ただし、フェノール類の抽出量が増えるかどうかは、原料粒度、溶媒、酵素暴露、熱履歴、pH、共抽出されるタンニンや多糖の量に左右されます。

水溶性糖質や多糖由来成分を目的にする場合も、酵素処理は有効な選択肢になり得ます。Cacalia firma由来の酵素加水分解水溶性炭水化物に関する研究では、酵素処理で得られた水溶性炭水化物の抗酸化特性が評価されています^[16]。このような知見は、ペクチナーゼ処理によって「低分子化され

たペクチン断片」や「細胞壁から放出された水溶性画分」が、単なる副産物ではなく、機能性評価の対象にもなり得ることを示します。

食品加工安全性と品質面での現実的な理解

食品用植物抽出において、ペクチナーゼは工程を穏やかにする手段として有用ですが、万能ではありません。植物原料には天然由来の苦味成分、渋味成分、アレルギー、抗栄養因子、天然毒性成分が含まれる場合があります。食品加工による植物性有害成分の低減に関するレビューでは、加工法が天然由来成分の不活化、除去、低減に関与する一方、原料と成分ごとに適切な処理が異なることが整理されています^[17]。

ペクチナーゼ処理によって細胞壁が開くと、目的成分だけでなく、渋味、苦味、濁り、褐変関連物質、金属イオン結合成分なども抽出されやすくなる場合があります。これは、抽出効率の向上と品質設計が常に同じ方向に進むわけではないことを意味します。特に果皮、種子周辺、葉、根を扱う場合には、ポリフェノール増加が望ましい場合もあれば、過剰な渋味や色調変化として問題になる場合もあります。



Figure 6. 발표된 효소 보조 추출 연구는 껍질, 착즙박, 잎, 꽃, 위과 등 다양한 식물성 기질을 다룹니다.

アレルギー制御の観点では、物理的加工技術や新興技術が植物性・動物性タンパク質のアレルギー制御に応用される可能性が検討されていますが、ペクチナーゼはタンパク質アレルギーを特異的に分解する酵素ではありません^[18]。したがって、植物抽出工程でペクチナーゼを使う場合も、アレルギーや表示、安全性管理は別の食品安全フレームで扱う必要があります。ペクチナーゼの役割は、あくまでペクチン質を中心とした細胞壁障壁の低減です。

固定化ペクチナーゼ研究から見える工程安定化の考え方

研究分野では、ペクチナーゼを固定化して再利用性や安定性を高める試みが行われています。キトサン磁性粒子へ固定化したペクチナーゼの研究では、粒子調製方法が果汁清澄化における酵素特性へ与える影響が検討されています^[19]。また、キトサン磁性ナノ粒子と架橋剤を利用した固定化ペクチナーゼの研究も報告されています^[20]。

さらに、パイヤジュース加工では、アルギン酸ビーズ固定化ペクチナーゼが物理化学的性質、酸化活性、再利用性へ与える影響が検討されています^[21]。これらは研究用途の知見であり、Enzymes.bioが固定化酵素システムを製造・設計するという意味ではありません。ただし、ペクチナーゼが単回添加の酵素だけでなく、連続処理、再利用、工程安定化といった観点からも研究されていることは、産業的関心の高さを示しています。

実際の食品用植物抽出では、粉末または液状の酵素製剤を工程に投入し、反応後に加熱や分離などの後工程へ接続する使い方が一般的です。固定化研究の知見は、酵素がpH、温度、接触時間、基質拡散、担体表面などに影響されることを理解する材料になりますが、通常の植物抽出では、原料スラリーと酵素を十分に接触させる設計のほうが実務上重要です。

従来抽出法との比較

観点	強い加熱・酸・アルカリ・長時間抽出に依存する方法	ペクチナーゼ支援の植物抽出
主な作用	熱、pH、溶媒力で組織と成分を一括的に変化させる	ペクチン質を中心に細胞壁・細胞間層を酵素的に緩める
工程性	粘度や濁りが残る場合があり、ろ過負荷が高くなりやすい	粘度低減、清澄化、固液分離性改善が期待できる
成分への影響	熱や強いpHで香気、色素、ポリフェノールが変化しやすい	比較的穏やかな条件を選びやすいが、処理過多には注意が必要
原料適性	硬い組織や低水分原料では前処理が必要	ペクチンが多い果実、果皮、葉、ハーブ、搾汁残渣で特に有用
副産物利用	強条件で不要成分も抽出されやすい	細胞壁分解を利用した果皮・搾りかすの有効利用に向く
根拠例	植物食品加工では成分変化や有害成分低減が処理条件に依存する ^[17]	果汁・果実抽出でペクチナーゼ処理の物性変化が報告されている ^[6]

酵素支援抽出の利点は、従来法を完全に置き換えることではなく、工程条件を穏やかにしながら、粘度、清澄性、固液分離、抽出液の扱いやすさを改善できる点にあります。植物細胞壁は複雑な複合材料であるため、加熱、粉碎、pH調整、酵素処理、圧搾、遠心分離、ろ過を組み合わせることで、目的成分と工程性のバランスを取ることができます^[2]。



Figure 7. 펙티나아제는 일반적으로 습윤 또는 마쇄 후, 그리고 압착, 원심분리, 여과, 정제, 농축 또는 건조 전에 적용됩니다.

Enzymes.bioでの提供形態

Enzymes.bioは、Food-Grade Pectinase For Plant Extractionを供給するB2B酵素サプライヤーです。Enzymes.bioは本製品の製造業者または受託研究機関ではなく、酵素をオンラインで購入できる形で提供します。製品は1kg単位で直接購入でき、オンライン注文により処理されます。注文時には、対象製品に関連するCoAおよびSDSが併せて提供されます。

本製品は、植物抽出、果実・野菜由来成分の抽出、果皮や搾汁残渣の活用、食品・飲料向け原料処理、清澄化やろ過性改善を目的とする工程に適した酵素として位置付けられます。使用にあたっては、ペクチンが工程上の主要な障壁であるか、目的成分が酵素処理条件で安定か、最終製品にどの程度の粘度や濁りを残したいかを工程設計上の判断軸にすることが重要です。

まとめ：ペクチナーゼは植物抽出を「流しやすく、分けやすく、取り出しやすく」する酵素

Food-Grade Pectinase For Plant Extractionは、植物細胞壁中のペクチン質を分解し、抽出スラリーの粘度低減、細胞間接着の緩和、固液分離性の改善、果実・植物由来成分の放出支援を目的とする食品用途向けペクチナーゼです。果汁加工、果実抽出、植物副産物利用、抗酸化関連成分の放出

に関する研究は、ペクチナーゼおよび炭水化物分解酵素が植物組織の加工性と成分回収に関与することを示しています^{[3][7]}。

一方で、効果は原料のペクチン量、細胞壁構造、粒度、抽出溶媒、温度、pH、目的成分の安定性、後工程によって変わります。ペクチナーゼはすべての植物成分を一律に増やす万能剤ではなく、ペクチン由来の粘性、濁り、細胞壁障壁が問題となる場面で特に有効な酵素ツールです。

Enzymes.bioでは、本製品を1kg単位でオンライン供給し、注文時にCoAおよびSDSを提供することで、食品・飲料・植物エキス関連の事業者が工程に組み込みやすい形で提供しています。

Food-Grade Pectinase For Plant 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。

[Food-Grade Pectinase For Plant 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. Rashima, R. S., Ong, W. L., Nadiah, Z. A., & Maizura, M. (2022). Effects of acidified blanching water and pectinase enzyme pretreatments on physicochemical properties and antioxidant capacity of Carica papaya juice. *Journal of Food Science*.
2. Thygesen, L. G., Thybring, E. E., Johansen, K., & Felby, C. (2014). The Mechanisms of Plant Cell Wall Deconstruction during Enzymatic Hydrolysis. *PLoS ONE*, 9.
3. Gani, G., Naik, H., Jan, N., Bashir, O., Hussain, S. Z., Rather, A. H., Reshi, M., ... et al. (2020). Physicochemical and antioxidant properties of pear juice prepared through pectinase enzyme-assisted extraction from William Bartlett variety. *Journal of Food Measurement & Characterization*, 15, 743-757.
4. Calderan-Rodrigues, M. J., Fonseca, J. G., Clemente, H., Labate, C., & Jamet, E. (2018). Glycoside Hydrolases in Plant Cell Wall Proteomes: Predicting Functions That Could Be Relevant for Improving Biomass Transformation Processes. *Advances in Biofuels and Bioenergy*.
5. Meyer, A., Jepsen, S. M., & Sørensen, N. S. (1998). Enzymatic Release of Antioxidants for Human Low-Density Lipoprotein from Grape Pomace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 2439-2446.
6. Guo, K. (2024). Changes in the Main Physicochemical Properties and Electrochemical Fingerprints in the Production of Sea Buckthorn Juice by Pectinase Treatment. *Molecules*, 29.

7. Takó, M., Tunalı, F., Zambrano, C., Kovács, T., Varga, M., Szekeres, A., Papp, T., ... et al. (2024). Phenolic Content, Antioxidant and Antimicrobial Properties of Hawthorn (*Crataegus orientalis*) Fruit Extracts Obtained via Carbohydrase-Assisted Extraction. *Applied Sciences*.
8. Zahan, I., Khan, M. M., Rana, M. S., Sahabuddin, M., Rasik, M. R., & Uddin, M. M. (2024). Effect of selective preservatives on shelf-life of guava juice extracted using pectinase enzyme. *Heliyon*, 10.
9. Tang, J., Yao, D., Xia, S., Cheong, L., & Tu, M. (2024). Recent progress in plant-based proteins: From extraction and modification methods to applications in the food industry. *Food chemistry: X*, 23.
10. Cakmak, H., Ilyasoglu-Buyukkestelli, H., Sogut, E., Ozyurt, V., Gumus - Bonacina, C. E., & Simsek, S. (2023). A review on recent advances of plant mucilages and their applications in food industry: Extraction, functional properties and health benefits. *Food Hydrocolloids for Health*.
11. Rehman, S., Aslam, H., Ahmad, A., Khan, S., & Sohail, M. (2015). Production of plant cell wall degrading enzymes by monoculture and co-culture of *Aspergillus niger* and *Aspergillus terreus* under SSF of banana peels. *Brazilian Journal of Microbiology*, 45, 1485 - 1492.
12. Cosgrove, D. J. (2024). Plant Cell Wall Loosening by Expansins. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*.
13. Tian, Y., Jin, H., Liu, X., Zhang, Y., & Wu, H. (2021). Cornhusk retting by pectinase enzyme combined with NaOH and effects on fiber properties. *Textile research journal*, 92, 118 - 125.
14. Xiang, Z., Guan, H., Zhao, X., Xie, Q., Xie, Z., Cai, F., Dang, R., ... et al. (2024). Dietary gallic acid as an antioxidant: A review of its food industry applications, health benefits, bioavailability, nano-delivery systems, and drug interactions. *Food Research International*, 180, 114068 .
15. Hewawansa, U. H. A. J., Houghton, M., Barber, E., Costa, R. S., Kitchen, B., & Williamson, G. (2024). Flavonoids and phenolic acids from sugarcane: Distribution in the plant, changes during processing, and potential benefits to industry and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23 2, e13307 .
16. Ha, S., Kim, H., & Yang, J. (2025). Enzymatic Hydrolysis-Derived Water-Soluble Carbohydrates from *Cacalia firma*: Evaluation of Antioxidant Properties. *Foods*, 14.
17. Urugo, M. M., & Tringo, T. T. (2023). Naturally Occurring Plant Food Toxicants and the Role of Food Processing Methods in Their Detoxification. *International journal of food Science*, 2023.
18. Zhang, L., Raghavan, V., & Wang, J. (2025). Traditional and Emerging Physical Processing Technologies: Applications and Challenges in Allergen Control of Animal and Plant Proteins. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24.
19. Magro, L. D., Moura, K. S., Backes, B. E., Menezes, E. D., Benvenuto, E., Nicolodi, S., Klein, M., ... et al. (2019). Immobilization of pectinase on chitosan-magnetic particles: Influence of particle preparation protocol on enzyme properties for fruit juice clarification. *Biotechnology Reports*, 24.
20. Nouri, M., & Khodaiyan, F. (2020). Green synthesis of chitosan magnetic nanoparticles and their application with poly-aldehyde kefirin cross-linker to immobilize pectinase enzyme. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 29, 101681.

21. Ishak, N. A., Serri, N. A., Samsudin, H., & Murad, M. (2025). Impact of immobilized pectinase-alginate beads on physicochemical properties, antioxidant activity, and reusability in papaya juice processing. *Journal of Food Science*, 90 4, e70177 .

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。