

Pectin Methylesterase（ペクチンメチルエステラーゼ）：果実硬度保持・ペクチン改質・果汁安定性制御向け酵素

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

Pectin Methylesterase (PME、ペクチンメチルエステラーゼ) は、ペクチンのメチルエステル基を加水分解し、カルシウムと結合しやすいカルボキシル基を増やす酵素です。食品・植物素材加工では、果実組織の硬さ保持、ペクチン系ゲルの物性調整、植物細胞壁の改質、果汁中の濁り安定性制御に関係します。PME は「ペクチンを単に分解する酵素」ではなく、ペクチンのエステル化状態を変えることで、その後のゲル化、架橋、粘度、沈降挙動を左右する構造制御酵素です。

Pectin Methylesterase の基本機能

Pectin Methylesterase は、植物細胞壁や中葉に多いペクチン、とくにホモガラクトuronan 領域のメチルエステル化されたガラクトuron酸残基に作用します。反応ではメチルエステル基が外れ、ペクチン鎖上に遊離カルボキシル基が増えるため、ペクチンの電荷状態、カルシウム応答性、溶解性、ゲル形成挙動が変化します。PME 遺伝子や相同酵素は植物だけでなく微生物や卵菌にも見られ、*Phytophthora sojae* の PME 遺伝子群を対象にした構造・機能解析では、PME が細胞壁多糖の改変に関わる酵素ファミリーとして扱われています^[1]。

食品加工の文脈では、PME の価値は「ペクチンを壊す」ことよりも「ペクチンを反応しやすい形に変える」ことにあります。脱メチルエステル化されたペクチンは、カルシウムなどの二価カチオンを介して鎖同士が架橋しやすくなり、植物組織の硬さ保持やペクチンゲルの形成に寄与します。一方で、果汁中では同じ反応が濁り粒子の沈降やクラウドロスに関係することがあり、PME は活用対象であると同時に、工程中で制御すべき品質関連酵素でもあります^[2]。

PME はペクチナーゼ群の一部として語られることがありますが、ポリガラクトuronナーゼのように主鎖を切断する酵素とは役割が異なります。PME が先にペクチンのメチルエステル化度を下げると、他のペクチン分解酵素が作用しやすくなる場合があり、植物素材加工では複数の細胞壁関連酵素の働きが連続的に品質へ反映されます。Pectobacterium chrysanthemi 由来 PME の発現研究でも、PME はペクチン分解系の中でメチルエステル化状態を調整する酵素として扱われています^[3]。

作用機序：PME がペクチン構造を変える流れ

PME の反応は、メチルエステル化ペクチンを脱エステル化ペクチンへ変換する加水分解反応です。メチルエステル基が多いペクチンは比較的疎水的で、カルシウムとのイオン性相互作用が限られますが、PME によりカルボキシル基が増えると負電荷を帯びた部位が増加し、カルシウム架橋を形成しやすくなります。この変化により、同じペクチンでも、低粘度の溶液成分、弱いゲル、強いネットワーク、沈降しやすい凝集体など、工程条件に応じて異なる挙動を示します^[4]。

カルシウム架橋が有効に形成されると、細胞壁や中葉のペクチン鎖が互いに結び付けられ、組織の崩れが抑えられます。これは、カット果実や軟化しやすい果実素材で食感を保つうえで重要です。ただし、PME の作用が進みすぎたり、他のペクチン分解酵素が同時に強く働いたりすると、架橋による硬さ保持よりもペクチンの可溶化・低分子化が目立つことがあります。したがって、PME は単独で「硬くする酵素」と考えるより、ペクチン、カルシウム、pH、温度、時間、他酵素活性のバランスで効果が決まる改質酵素と捉えるべきです^[5]。

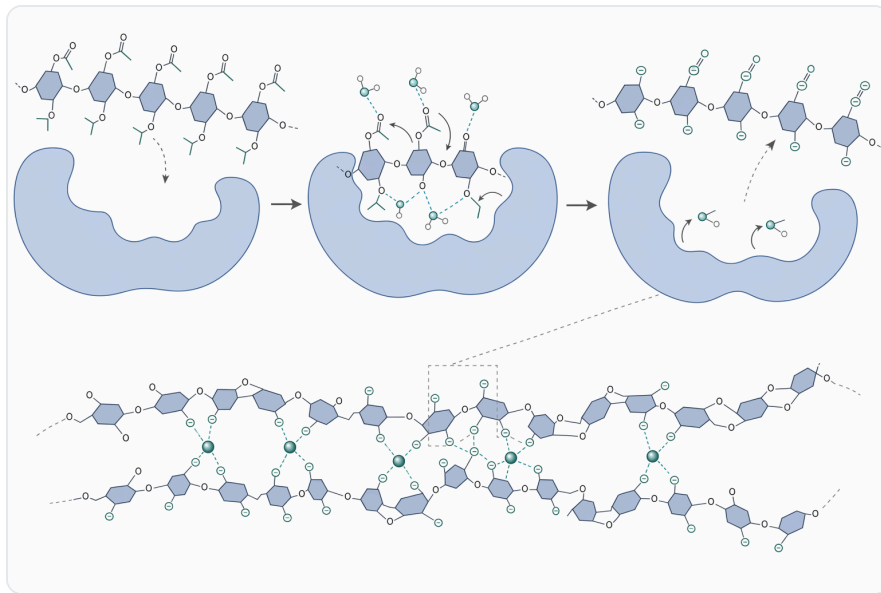


Figure 1. PME removes methyl ester groups from pectin, increasing free carboxyl groups that can interact with calcium and change gelation, viscosity, tissue firmness, and sedimentation behavior.

PME の作用は果汁にも大きく関係します。柑橘果汁の濁りは、ペクチンを含む微細な懸濁粒子が安定に分散している状態ですが、PME によってペクチンの電荷状態が変わると、カルシウムを介した凝集や沈降が起こりやすくなります。そのため、ジュース加工分野では PME を意図的に使う場面よりも、残存 PME 活性をどう抑えるかが品質保持の中心課題になることがあります。パルス電場処理に関するレビューでも、PME は植物性飲料の品質に関わる重要酵素として扱われています^[2]。

食品・植物素材加工での主要用途

果実組織の硬さ保持とカットフルーツ品質

PME とカルシウムを組み合わせる用途では、脱メチルエステル化で生じたカルボキシル基にカルシウムが結合し、ペクチン鎖間の架橋が増えることを利用します。Fresh-cut strawberries を対象とした研究では、カルシウム乳酸塩と PME の真空含浸処理が果実の硬さ保持に関係することが示されており、細胞壁ペクチンの反応性を利用したテクスチャー制御の実例として参照できます^[5]。

この用途で重要なのは、PME が果肉の「表面だけ」を固めるのではなく、細胞壁・中葉のペクチンネットワークの化学状態を変える点です。カット面からのドリップ、輸送中の形崩れ、食感低下は、細胞接着の低下や水分保持性の変化と結び付いています。PME による脱メチルエステル化とカルシウム架橋がうまく機能すると、組織内のペクチンがより接着性の高いネットワークを形成し、加工・保存中の軟化抑制に寄与します^[5]。

ペクチン系ゲル・食品テクスチャー設計

ペクチンは、ジャム、フィリング、果実調製品、デザート、植物由来食品、脂肪代替系などでレオロジーを設計するための重要なヒドロコロイドです。PME は、ペクチンそのものを供給する成分ではありませんが、ペクチンのメチルエステル化度を変えることで、カルシウム応答性やゲルネットワーク形成を調整します。ペクチン由来ヒドロゲルや機能性食品素材に関する研究では、ペクチンの構造特性がゲル化、保水、包埋、テクスチャーに直結することが示されています^[6]。



Figure 2. PME is relevant to cut-fruit texture retention, pectin gel design, juice cloud control, puree stability, and plant byproduct processing.

PME を使ったペクチン改質では、最終的なゲル強度だけでなく、ゲル化の速度、離水、口溶け、切断面の保持性、ポンプ移送時の粘度変化も設計対象になります。高メチルエステル化ペクチンのままではカルシウム架橋が限定的でも、PME 作用後には低メチルエステル化領域が増え、カルシウム存在下でよりネットワークを形成しやすくなります。食品素材としてのペクチンは農産副産物からの抽出・利用とも関係しており、柑橘果皮やその他の植物副産物を価値化する文脈でも注目されています^[7]。

果汁・飲料におけるクラウド安定性制御

果汁加工では、PME はしばしば不活化対象になります。柑橘果汁の濁りは消費者が品質指標として認識する 경우가多く、PME が残存するとペクチンの脱メチルエステル化が進み、カルシウム架橋を介して懸濁粒子が凝集・沈降しやすくなります。熱安定化された工業的果実調製品でも PME 活性の残存が報告されており、通常の加熱工程後でも PME が品質に影響し得ることが示されています^[8]。

このため、果汁分野では、PME を「添加して利用する」だけでなく、原料由来 PME の残存や不活化を考慮した工程設計が必要です。高圧二酸化炭素処理、パルス電場、超音波、熱超音波、高圧・温度併用処理などの研究が行われているのは、PME が果汁品質に直結する耐性の高い品質関連酵素だからです。高圧二酸化炭素による PPO と PME の不活化研究では、液体・固体の天然物への適用可能性が検討されています^[9]。

植物素材の細胞壁改質と抽出補助

植物原料の加工では、ペクチンが粘度、濾過性、固液分離、抽出効率、組織の崩れ方に影響します。PME はペクチン鎖を直接短くする酵素ではありませんが、脱メチルエステル化によって後続のペクチン分解、カルシウム架橋、凝集、粘度変化を方向付けます。Aspergillus niger を用いた PME 生産研究では、柑橘ペクチンやオレンジピールが誘導基質として扱われており、PME と柑橘系副産物・ペクチン資源との産業的な結び付きが示されています^[10]。

果皮、果肉残渣、野菜副産物などを用いるプロセスでは、ペクチンの状態が抽出物の粘性や分離性を左右します。PME によりカルボキシル基が増えると、カルシウム存在下ではネットワーク化が進む一方、他のペクチン分解酵素と組み合わせた場合には細胞壁の緩みや可溶化が進みやすくなります。農産副産物からペクチンや機能性成分を取り出す研究が増えている背景には、廃棄物低減と植物細胞壁成分の高付加価値化があります^[6]。



Figure 3. In cut-fruit applications, PME and calcium treatment can convert cell-wall pectin into a more crosslinked network that helps maintain firmness and reduce drip.

PME を活かす用途と抑える用途の比較

加工領域	PME の位置づけ	主な品質指標	機序の要点	代表的な研究文脈
カット果実・果実組織	カルシウムと併用して活かす	硬さ、形状保持、ドリップ抑制	脱メチルエステル化でカルシウム架橋部位を増やす	Fresh-cut strawberries の硬さ保持 ^[5]
ペクチンゲル・食品テクスチャー	ペクチン改質に活かす	ゲル強度、保水性、粘弾性	メチルエステル化度を下げ、カルシウム応答性を変える	ペクチン抽出・機能性素材研究 ^[6]
柑橘果汁・濁り飲料	多くの場合は抑える	クラウド安定性、沈降、外観	脱エステル化ペクチンがカルシウムを介して凝集しやすくなる	PEF や非加熱処理による品質関連酵素制御 ^[2]
果実ピューレ・調製品	目的に応じて制御	粘度、分離、保存安定性	加熱後も残存活性が品質に影響する可能性がある	工業的果実調製品の残存 PME 活性 ^[8]
植物副産物加工	細胞壁改質の一部として活かす	抽出性、濾過性、粘度	他のペクチン関連酵素と連動して細胞壁状態を変える	柑橘副産物・野菜副産物の有効利用 ^[7]

加工技術との関係：PME は制御対象にもなる

PME は比較的熱や処理条件に対して残存しやすい品質関連酵素として扱われることがあります。パイナップルピューレを対象にした研究では、高圧と温度を組み合わせた処理中の PME 不活化がモデル化されており、果実ピューレの安定化では PME の挙動を定量的に理解する必要があることが示されています^[11]。

超音波や熱超音波も、PME を含む品質関連酵素の制御技術として研究されています。Jaboticaba juice の研究では、超音波処理がフェノール性化合物、揮発性プロファイル、PPO、ペルオキシダーゼ、PME の不活化に及ぼす影響が検討されました。これは、PME の制御が単独の酵素問題ではなく、色、香り、酸化酵素、栄養成分保持と同時に考えるべき工程課題であることを示しています^[12]。

Nagpur mandarin juice を対象にした熱超音波研究では、PME 不活化とクラウド安定性の関係が扱われています。柑橘果汁では、ペクチンが濁り粒子の分散安定性を支える一方、PME がそのペクチンを脱エステル化することで沈降リスクを高めるため、PME 活性の制御は見た目の安定性に直結します^[13]。

トマト由来のペルオキシダーゼと PME を対象にした研究では、熱および pH による不活化挙動が扱われています。トマトのような植物性加工品では、粘度、濾過性、ピューレの分離、加熱後のテクスチャーが複数酵素の残存活性に左右されるため、PME の挙動は単なる基礎酵素学ではなく、製品物性の管理に直結します^[4]。

酵素源と産業的な位置づけ

PME は植物由来酵素として果実・野菜中に天然に存在するだけでなく、微生物由来酵素としても研究されています。Aspergillus niger を用いた液体培養研究では、柑橘ペクチンおよびオレンジピールが PME 合成の誘導因子として検討され、微生物 PME がペクチン資源の加工と結び付いていることが示されています^[10]。

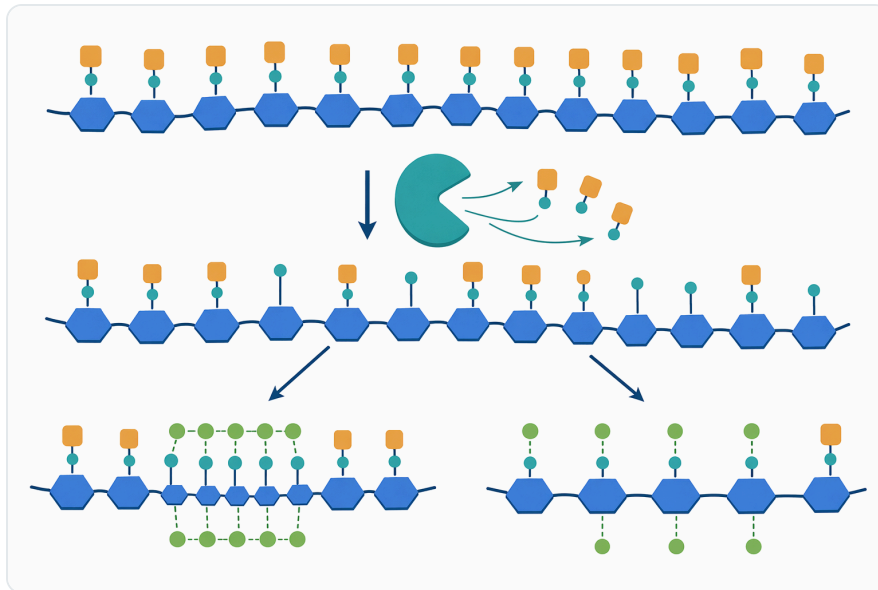


Figure 4. In citrus juice, residual PME can promote calcium-mediated aggregation of pectin-containing cloud particles and lead to visible sedimentation.

Pectobacterium chrysanthemi 由来 PME を *Pichia pastoris* で発現させる研究も報告されており、PME は植物病原菌、食品加工、細胞壁多糖改質の接点にある酵素です。このような研究は、PME の構造・機能理解や応用可能性を広げるものであり、実際の加工利用では対象基質、食品マトリックス、共存イオン、既存酵素活性によって効果が変わります^[3]。

ペクチン由来オリゴ糖の生産では、PME を含むペクチン分解酵素系が基質構造を段階的に変えます。ポメロアルベドを用いたペクチン由来オリゴ糖生産の研究では、真菌ペクチン分解酵素系とプレバイオティックポテンシャルが検討されており、PME は単独作用だけでなく、複合酵素系の中でペクチン資源を変換する役割を持ちます^[14]。

実務上の設計ポイント

PME の利用目的が果実硬度保持であれば、狙いはペクチン鎖をカルシウムで架橋しやすい状態に変えることです。したがって、対象はペクチンを十分に含む組織であり、果実の熟度、カット状態、細胞壁の損傷度、カルシウムとの接触性が結果に影響します。Fresh-cut strawberries の研究のように、PME とカルシウム処理を組み合わせる発想は、軟化しやすい果実素材のテクスチャー保持に理論的な根拠があります^[5]。

一方、果汁やピューレでは、PME の作用が望ましいとは限りません。濁りを維持したい柑橘飲料では、PME の脱メチルエステル化がペクチン凝集を促し、クラウドロスを引き起こす可能性があります。工業的果実調製品で残存 PME 活性が報告されていることから、加熱済みであっても PME の影響を無視できない場合があります^[8]。

ペクチン系ゲルや植物由来テクスチャー素材では、PME はペクチンの「反応性」を変える手段です。脱メチルエステル化が適度に進むと、カルシウム応答性やネットワーク形成が高まりますが、過度な脱エステル化や他酵素との組み合わせによっては、沈殿、離水、粘度低下、加工中の不均一化が起こることもあります。ペクチン抽出や副産物利用の研究では、原料ごとのペクチン構造差が最終機能に大きく影響することが示されています^[6]。

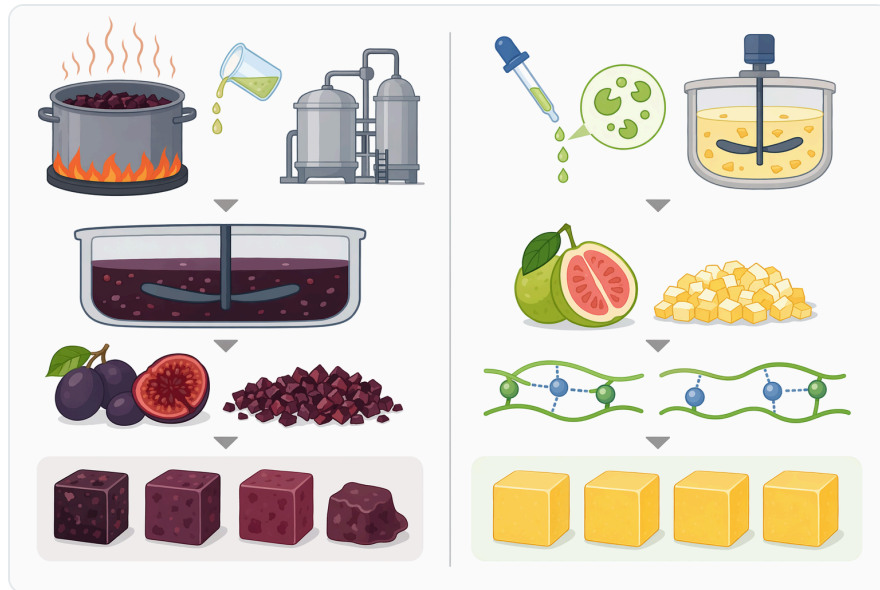


Figure 5. PME is used when calcium-responsive pectin networks are desired, but it is often suppressed in cloudy beverages where demethylesterification can destabilize suspended particles.

植物素材加工では、PME を単独の「万能な分解酵素」と見なさないことが重要です。PME はペクチンのメチルエステル化度を下げますが、主鎖切断や完全な細胞壁崩壊には別のペクチン関連酵素や処理条件が関与します。野菜副産物の抽出・産業利用に関するレビューでも、植物細胞壁成分の活用には複数の化学的・酵素的・物理的処理が関係することが整理されています^[7]。

Enzymes.bio における供給形態

Enzymes.bio は、酵素製品をオンラインで取り扱う B2B 向けサプライヤーです。Pectin Methylesterase は、食品・植物素材加工におけるペクチン構造制御、果実テクスチャー調整、ペクチン改質、飲料工程でのペクチン挙動検討に関連する酵素として位置づけられます。Enzymes.bio は製造業者や研究所ではなく、酵素をオンラインで供給する立場です。

Pectin Methylesterase 製品は、オンラインで直接注文できる形で提供され、1 kg 単位で販売されます。注文時には CoA と SDS が併せて提供されるため、購入後の社内受入、保管、用途管理に必要な基本文書を同時に扱えます。製品ページでは Pectin Methylesterase として掲載されており、用途説明はペクチン改質酵素としての機能に基づいて理解できます。

期待できる利点と限界

PME の明確な利点は、ペクチンのメチルエステル化度を下げることで、カルシウム架橋やペクチンネットワーク形成を制御できる点です。カット果実では硬さ保持、ペクチン系食品ではゲル化・保水・粘弾性調整、植物素材加工では細胞壁改質、果汁加工ではクラウド安定性の理解と制御に関係します。これらの用途は、PME がペクチンの化学状態を変えるという共通機序でつながっています [5]。

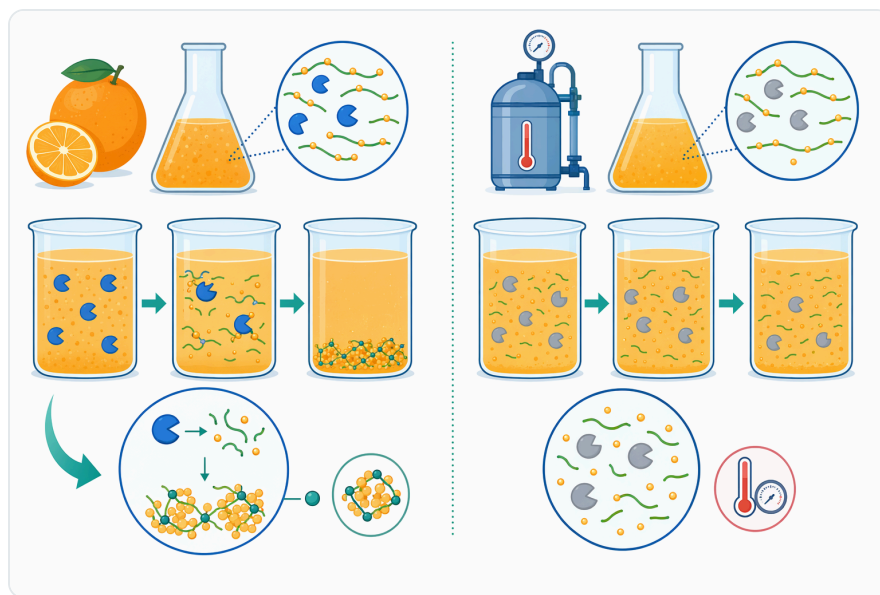


Figure 6. PME occurs naturally in plant materials and is also studied from microbial and recombinant sources for pectin-resource processing.

ただし、PME は品質を常に改善する添加酵素ではありません。柑橘果汁のように濁りを保ちたい製品では、PME の残存活性が沈降や外観劣化につながる可能性があるため、不活化研究が盛んに行われています。高圧二酸化炭素、パルス電場、超音波、熱超音波、高圧温度併用などの検討は、PME が品質上重要でありながら制御の難しい酵素であることを示しています [9]。

また、PME の効果は原料ごとに異なります。ペクチン含量、メチルエステル化度、カルシウム量、pH、温度、処理時間、共存するポリガラクトナーゼやペクチンリアーゼ、原料の熟度や破碎状態が結果を左右します。したがって、PME は「果実を必ず硬くする」「果汁を必ず安定化する」「抽出効率を必ず高める」といった単純な機能ではなく、ペクチン構造を目的に合わせて動かすための工程設計用酵素です [4]。

まとめ

Pectin Methylesterase は、ペクチンのメチルエステル基を外し、カルボキシル基を増やすことでペクチンの反応性を変える酵素です。この反応により、カルシウム架橋、細胞壁の接着性、果実硬度、ペクチンゲル形成、果汁の沈降・濁り安定性が影響を受けます。果実組織では PME とカルシウムの組み合わせが硬さ保持に役立つ可能性があり、飲料では逆に残存 PME 活性の制御が品質保持の課題になります^[5]。

食品・植物素材加工における PME の価値は、ペクチンを分解することではなく、ペクチンのエステル化状態を調整して後続の物性変化を方向付ける点にあります。Enzymes.bio が供給する Pectin Methylesterase は、B2B 用途でペクチン改質、果実テクスチャー管理、植物素材加工、果汁工程のペクチン挙動制御を検討する際に利用できる酵素製品として、オンラインで直接注文できます。

Pectin Methylesterase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。

[Pectin Methylesterase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. Horowitz, B., & Ospina-Giraldo, M. (2015). The Pectin Methylesterase Gene Complement of *Phytophthora sojae*: Structural and Functional Analyses, and the Evolutionary Relationships with Its Oomycete Homologs. *PLoS ONE*, 10.
2. Terefe, N. S., Buckow, R., & Versteeg, C. (2015). Quality-Related Enzymes in Plant-Based Products: Effects of Novel Food Processing Technologies Part 2: Pulsed Electric Field Processing. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55, 1 - 15.
3. Acar, M., & Unver, Y. (2022). Constitutive and extracellular expression of pectin methylesterase from *Pectobacterium chrysanthemi* in *Pichia pastoris*. *3 Biotech*, 12, 1-9.
4. Santos, M., Jacobi, S., Cruz Arcas Miñarro, M., Balsalobre, J., Guillén, A. A., & Gorbe, M. I. F. (2020). Kinetic characterization, thermal and pH inactivation study of peroxidase and pectin methylesterase from tomato (*Solanum betaceum*). *Food Science and Technology*.

5. Soares, A. C., Jesus, M. S., Sargent, S., Brecht, J. K., Oliveira Júnior, L. F. G., & Carnellosi, M. (2025). Quality Maintenance and Increased Firmness of Fresh - Cut Strawberries Using Vacuum Infusion of Calcium Lactate and Pectin Methylesterase. *Journal of Food Science*, 90.
6. Macias-Frotto, B., Rostro-Alanis, M., Escobedo-Avellaneda, Z., & Welti - Chanes, J. (2024). Conventional and Innovative Methods for Pectin Extraction from Agro-industrial By-products. *Food Engineering Reviews*, 17, 161 - 188.
7. Teshome, E., Teka, T., Urugo, M. M., Nandasiri, R., Gemede, H. F., Rani, I., Adebo, J., ... et al. (2024). Extraction methods, industrial uses, and nutritional benefits of vegetable byproducts. *International Journal of Vegetable Science*, 30, 334 - 363.
8. Castaldo, D., Laratta, B., Loiudice, R., Giovane, A., Quagliuolo, L., & Servillo, L. (1997). Presence of Residual Pectin Methylesterase Activity in Thermally Stabilized Industrial Fruit Preparations. *Lwt - Food Science and Technology*, 30, 479-484.
9. Benito-Román, Ó., Sanz, M., Illera, A. E., Melgosa, R., & Beltrán, S. (2020). Polyphenol oxidase (PPO) and pectin methylesterase (PME) inactivation by high pressure carbon dioxide (HPCD) and its applicability to liquid and solid natural products. *Catalysis Today*.
10. Pili, J., Vargas, C. E. B., Oro, C. E., Backes, G. T., Valduga, E., & Zeni, J. (2018). Synthesis of Pectin Methylesterase from *Aspergillus niger* in Submerged Fermentation Using as Citrus Pectin and Orange Peel as Inducers. *Industrial Biotechnology*, 14, 212 - 221.
11. Chakraborty, S., Rao, P. S., & Mishra, H. (2019). Modeling the inactivation of pectin methylesterase in pineapple puree during combined high-pressure and temperature treatments. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*.
12. Juliato, R. A., Brito, I. P. C., & Silva, E. K. (2025). Ultrasound-driven chemical and biochemical changes in jaboticaba juice: Phenolic compounds, volatile profile and inactivation of polyphenol oxidase, peroxidase and pectin methylesterase. *Food Chemistry*, 481, 144037 .
13. Sahu, R., Kumar, V., Minj, S. K., Sahu, P., & Thakur, S. (2023). Impact of Thermo-sonication on Pectin Methylesterase (PME) Inactivation & Cloud Stability of Nagpur Mandarin Juice. *International Journal of Plant & Soil Science*.
14. Aiewviriyasakul, K., Surarit, W., Methacanon, P., Lekakarn, H., Buathongjan, C., Gamonpilas, C., Sritusnee, W., ... et al. (2026). Fungal Pectinolytic Enzyme System for the Production of Long- and Short-Chain Pectin-Derived Oligosaccharides (POS) from Pomelo Albedo and Their Prebiotic Potential. *Catalysts*.


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。