

Pectin Methylesterase do kontrolowanej demetylacji pektyn w przetwórstwie owoców, soków i biopolimerów

Zespół badawczy Enzymes.bio · Wellington, Nowa Zelandia · June 19, 2026

Pectin Methylesterase, czyli PME lub pektynoesteraza, katalizuje usuwanie grup metylowych z pektyn, zmieniając ich ładunek, stopień estryfikacji i zdolność do wiązania jonów wapnia. W praktyce technologicznej enzym ten jest używany do kontrolowanej modyfikacji pektyn, zwłaszcza w sokach, produktach owocowo-warzywnych i systemach żelujących opartych na pektynie. Najważniejszy efekt PME nie polega na bezpośrednim cięciu łańcucha pektynowego, lecz na zmianie jego reaktywności i sposobu zachowania w matrycy roślinnej. ^[1]

Czym jest Pectin Methylesterase i dlaczego ma znaczenie technologiczne?

Pectin Methylesterase należy do enzymów pektolitycznych, ale jej funkcja różni się od działania poligalakturonaz czy liaz pektynowych. PME usuwa grupy metylowe z zestryfikowanych reszt kwasu galakturonowego w homogalakturonanowych regionach pektyny. W wyniku tej reakcji powstają wolne grupy karboksylowe, a pektyna staje się bardziej anionowa, czyli zdolna do silniejszych interakcji elektrostatycznych, szczególnie z kationami dwuwartościowymi, takimi jak wapń ^[1].

Pektyny są jednymi z głównych polisacharydów ściany komórkowej roślin i blaszki środkowej, dlatego stopień ich metylacji wpływa na teksturę owoców i warzyw, stabilność zawiesin w sokach, lepkość przecierów oraz właściwości żelujące preparatów pektynowych. PME może więc działać jako narzędzie modyfikacji struktury, a nie tylko jako element „rozkładu” surowca roślinnego. To rozróżnienie jest ważne, ponieważ zbyt uproszczone określenie PME jako enzymu rozkładającego pektynę pomija jej selektywną funkcję chemiczną ^[2].

W zastosowaniach B2B enzym jest istotny przede wszystkim tam, gdzie trzeba zmienić zachowanie frakcji pektynowej bez całkowitego niszczenia polimeru. Dotyczy to klarowania wybranych soków, wspierania koagulacji pektyn w obecności wapnia, przygotowania pektyn o innym profilu funkcjonalnym oraz kontroli tekstury produktów roślinnych. Enzymes.bio oferuje Pectin Methylesterase jako produkt dostępny online w jednostce 1 kg; firma działa jako dostawca, a dokumenty CoA i SDS są dostarczane wraz z zamówieniem.

Mechanizm działania PME: demetylacja, ładunek i wiązanie wapnia

Podstawowa reakcja katalizowana przez PME polega na hydrolizie wiązania estrowego pomiędzy grupą karboksylową reszty kwasu galakturonowego a grupą metylową. Po usunięciu grupy metylowej powstaje wolna grupa karboksylowa, która w odpowiednich warunkach pH może występować w formie ujemnie naładowanej. Zmienia to lokalną chemię łańcucha pektynowego: obniża stopień metylacji, zwiększa gęstość ładunku i tworzy miejsca zdolne do koordynacji jonów metali [3].

Dla technologii żywności szczególnie ważne jest to, czy demetylowane reszty pojawiają się w sposób blokowy, czyli obok siebie, czy bardziej losowy wzdłuż łańcucha. Blokowo rozmieszczone grupy karboksylowe mogą tworzyć strefy wiązania wapnia, które łączą sąsiednie łańcuchy pektyny i sprzyjają powstawaniu sieci przypominającej model „egg-box”. Losowa demetylacja może natomiast inaczej wpływać na rozpuszczalność, podatność na dalszą hydrolizę i właściwości reologiczne układu [4].

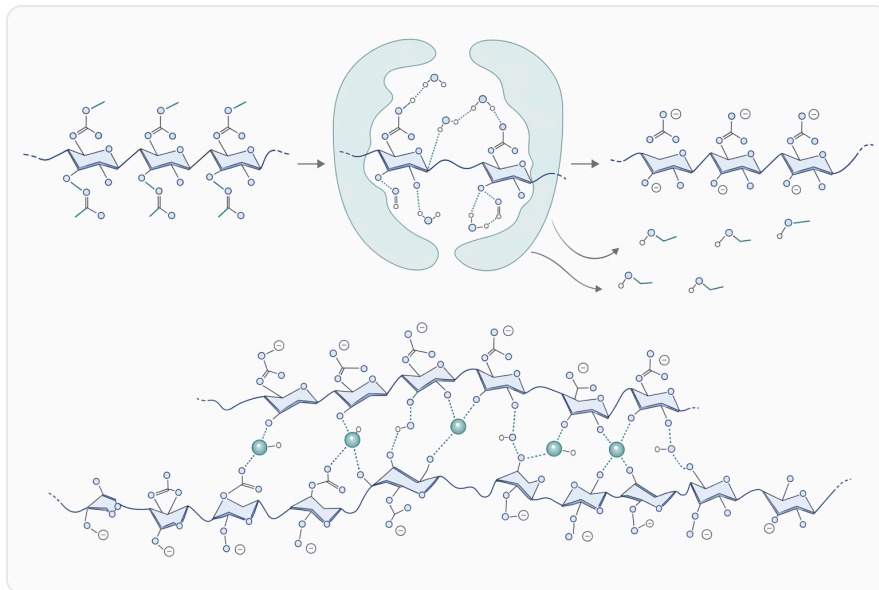


Figure 1. Pectin methylesterase removes methyl ester groups from pectin, generating low-methoxyl pectin regions that can form calcium-mediated gels.

Różne PME nie muszą działać identycznie. Badania nad PME jabłkową wykazały, że wzór działania enzymu zależał od pH, a porównanie warunków pH 7,0 i 4,5 wskazywało na odmienne sposoby demetylacji pektyny. To ma bezpośrednie znaczenie praktyczne: ten sam typ reakcji chemicznej może prowadzić do innych efektów strukturalnych, jeśli zmieni się środowisko procesu [5].

W badaniach nad PME cytrusową opisano, że pH wpływało na liczbę i wielkość bloków demetylowanych w modelowym homogalakturonanie. Oznacza to, że warunki procesu nie tylko regulują „ile” grup metylowych zostanie usuniętych, lecz także „gdzie” w polimerze pojawią się nowe

domeny naładowane. Z punktu widzenia formulacji pektynowych jest to różnica między prostą zmianą stopnia estryfikacji a projektowaniem funkcjonalnych domen w biopolimerze [4].

PME a inne enzymy pektolityczne: różnice funkcjonalne

W praktyce przemysłowej PME bywa zestawiana z innymi enzymami pektolitycznymi, lecz jej rola jest specyficzna. Poligalakturonazy hydrolizują wiązania glikozydowe w łańcuchu kwasu poligalakturonowego, liazy pektynowe rozszczepiają łańcuch przez eliminację, a PME przede wszystkim odsłania grupy karboksylowe przez deestryfikację. Dlatego PME może przygotować pektynę do dalszych przemian lub zmienić jej zachowanie bez wyraźnej depolimeryzacji [1].

Ta różnica ma znaczenie w procesach, gdzie celem jest redukcja lepkości. Sama PME nie zawsze obniża lepkość tak skutecznie jak enzymy tnące łańcuch pektynowy, ponieważ nie skraca bezpośrednio polimeru. Może jednak zwiększyć podatność pektyny na inne enzymy albo spowodować przejście części pektyny w formy mniej stabilne koloidalnie, zwłaszcza gdy obecne są jony wapnia. Właśnie dlatego PME często rozpatruje się jako element szerszego systemu pektolitycznego, a nie jako uniwersalny zamiennik wszystkich pektinaz [6].

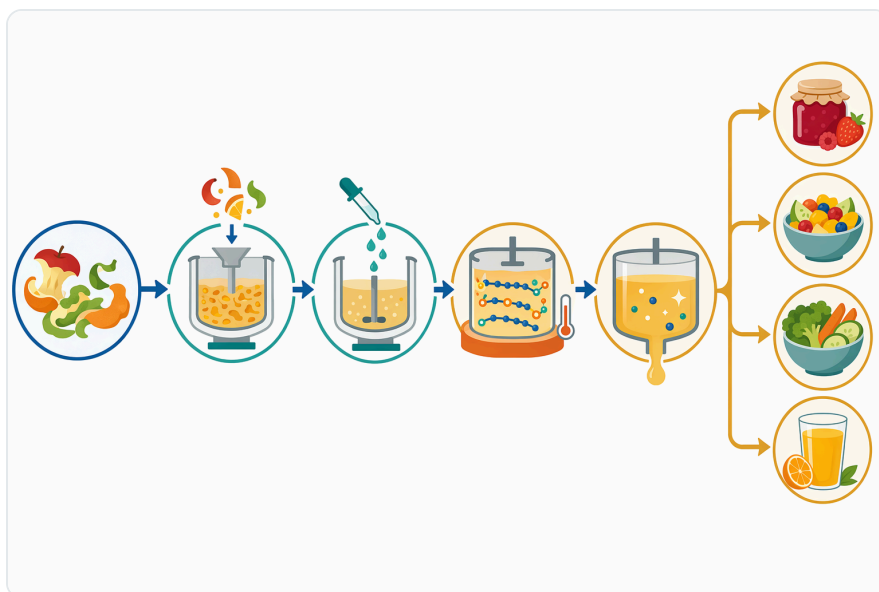


Figure 2. Industrial PME processing converts native pectin in fruit materials into controlled low-methoxyl pectin functionality for texture, clarification, and gel formation.

W produkcji pektinaz i systemów pektolitycznych wykorzystywane są źródła mikrobiologiczne, roślinne i grzybowe. Przykładowo badania nad syntezą PME przez *Aspergillus niger* w fermentacji zanurzeniowej pokazują, że enzymy te mogą być otrzymywane w układach mikrobiologicznych

indukowanych substratami pektynowymi, takimi jak pektyna cytrusowa i skórka pomarańczy. Dla użytkownika technologicznego ważniejsza od samego źródła jest jednak funkcja procesu: wzór demetylacji, kompatybilność z matrycą i przewidywalny efekt w produkcji ^[7].

Najważniejsze zastosowania Pectin Methylesterase w przemyśle

Klarowanie soków i kontrola stabilności koloidalnej

W sokach owocowych pektyny stabilizują zawiesiny, zwiększają lepkość i utrudniają separację cząstek. PME może wspierać klarowanie wtedy, gdy demetylacja prowadzi do powstawania bardziej naładowanych łańcuchów pektynowych, które następnie oddziałują z kationami i tracą część stabilności koloidalnej. Efekt ten jest szczególnie istotny w układach, w których klarowność, filtracja lub podatność na separację są parametrami jakościowymi procesu ^[8].

Trzeba jednak odróżnić celowe użycie PME od problemu resztkowej, endogennej aktywności PME w gotowych produktach owocowych. W sokach mętnych, zwłaszcza cytrusowych, aktywność PME może prowadzić do destabilizacji chmury przez demetylację pektyn i tworzenie nierozpuszczalnych kompleksów wapniowych. Z tego powodu literatura dotycząca utrwalania soków często skupia się na inaktywacji PME, ponieważ niekontrolowana aktywność enzymu może obniżać stabilność produktu ^[9].

Nowoczesne technologie utrwalania, takie jak obróbka wysokim ciśnieniem, wysoka temperatura w połączeniu z ciśnieniem, ditlenek węgla pod wysokim ciśnieniem czy termosonifikacja, są badane między innymi pod kątem inaktywacji PME. Dla technologów jest to cenna informacja: enzym może być użyteczny w określonym etapie procesu, ale po osiągnięciu celu jego dalsza aktywność może wymagać zatrzymania, jeśli produkt końcowy ma zachować stabilną mętność lub określoną teksturę ^[10].

Modyfikacja tekstury owoców i warzyw

PME odgrywa znaczącą rolę w strukturze ściany komórkowej, ponieważ demetylowane pektyny mogą tworzyć wiązania wapniowe wzmacniające sieć polisacharydową. W produktach owocowo-warzywnych może to ograniczać mięknięcie, szczególnie gdy proces obejmuje obecność dostępnego wapnia. Mechanizm jest zależny od tego, czy powstające wolne grupy karboksylowe są rozmieszczone w sposób sprzyjający mostkowaniu między łańcuchami pektynowymi ^[11].

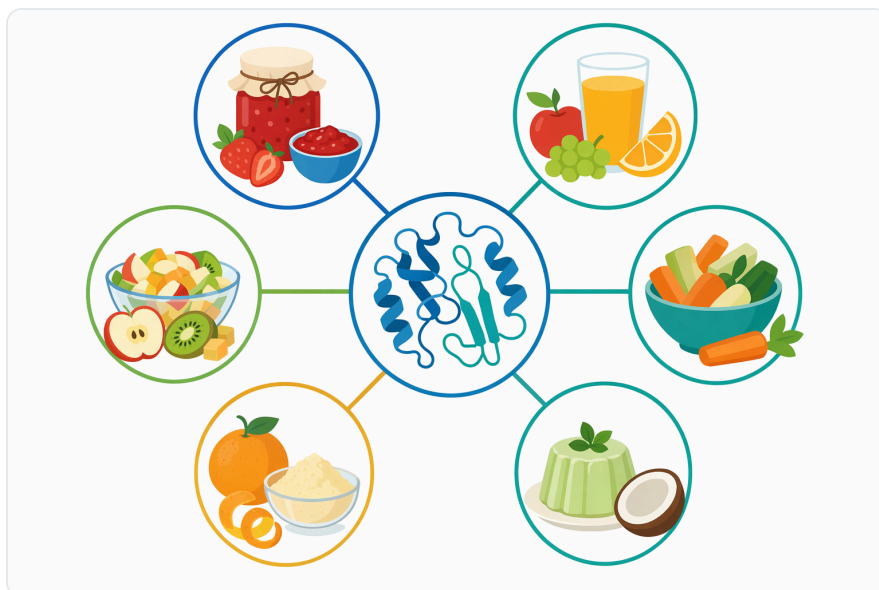


Figure 3. Pectin methylesterase is used in fruit processing, low-methoxyl pectin production, texture firming, juice treatment, and calcium-set food gels.

Znaczenie PME dla jędrności owoców jest widoczne również w badaniach biologii roślin. W jabłku czynnik transkrypcyjny MdMYB44 opisano jako regulator dodatnio wpływający na chrupkość owocu przez aktywację ekspresji genu PME MdMPE3. Choć jest to badanie roślinne, a nie instrukcja procesowa, pokazuje ono, że enzymatyczna modyfikacja pektyn jest bezpośrednio powiązana z cechami teksturalnymi ważnymi dla przetwórstwa i akceptacji konsumenckiej ^[12].

W przetwórstwie należy przy tym zachować równowagę. Nadmierna lub niekontrolowana demetylacja może zwiększyć podatność ściany komórkowej na dalszą degradację, zwłaszcza jeśli w układzie obecne są inne enzymy pektynolityczne. Zastosowanie PME w teksturze wymaga więc traktowania enzymu jako narzędzia regulującego sieciowanie pektyn, a nie jako prostego „utwardzacza” działającego jednakowo w każdej matrycy ^[1].

Funkcjonalna modyfikacja pektyn i projektowanie właściwości żelujących

Jednym z najbardziej precyzyjnych zastosowań PME jest modyfikacja pektyn jako składników funkcjonalnych. Obniżenie stopnia metylacji zmienia sposób żelowania pektyny, jej interakcje z wapniem, zachowanie w układach o różnej zawartości cukru i podatność na dalszą obróbkę enzymatyczną. W tym ujęciu PME służy do „przestrojenia” biopolimeru zamiast jego rozłożenia ^[2].

Badania nad termicznie tolerancyjną PME z cytrusów wykazały, że enzymatyczna modyfikacja modelowego homogalakturonanu może być analizowana na poziomie nanostrukturalnym, z uwzględnieniem trybu działania enzymu i wpływu pH. To potwierdza, że kontrolowana demetylacja może zmieniać architekturę pektyny w sposób istotny dla jej funkcji materiałowej i technologicznej ^[13].

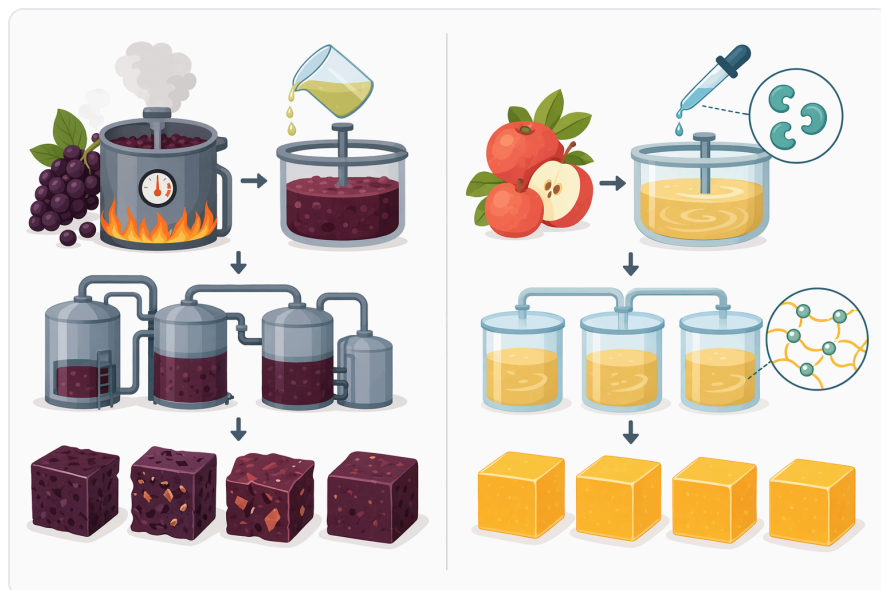


Figure 4. Compared with harsher chemical or thermal pectin modification, PME enables milder and more selective control of pectin demethylation and calcium gelation.

W praktyce przemysłowej takie podejście jest ważne dla produktów, w których pektyna odpowiada za strukturę żelu, zawieszenie cząstek, odczucie lepkości lub stabilizację. PME pozwala kształtować profil ładunku polimeru, co może wpływać na interakcje z białkami, minerałami i innymi polisacharydami. Ostateczny efekt zależy jednak od pochodzenia pektyny, stopnia metylacji początkowej, obecności acetylacji oraz warunków formulacji [14].

Fermentowane napoje owocowe i kontrola powstawania metanolu

Reakcja PME uwalnia metanol jako produkt demetylacji pektyny. W wielu zastosowaniach jest to naturalna konsekwencja chemii pektyn, ale w fermentowanych napojach owocowych wymaga uwagi procesowej, ponieważ wysoka aktywność PME w systemach pektolitycznych może zwiększać ilość metanolu powstającego z pektyn. Dlatego w niektórych procesach preferuje się preparaty pektolityczne o niskiej aktywności PME [15].

Badanie dotyczące wina z mandarynki Orah wskazało na pektinazę o niskiej aktywności PME jako rozwiązanie wspierające jakość i bezpieczeństwo przez ograniczenie tworzenia metanolu. Wniosek praktyczny jest prosty: PME jest użyteczna, gdy celem jest demetylacja, ale nie zawsze pożądana w wysokim udziale w procesach, w których metanol jest parametrem krytycznym [15].

Tabela porównawcza: gdzie PME pomaga, a gdzie wymaga kontroli?

Obszar zastosowania	Pożądany efekt PME	Mechanizm technologiczny	Główne ograniczenie interpretacyjne
Klarowanie wybranych soków	Ułatwienie destabilizacji frakcji pektynowej i separacji zawiesin	Demetylacja pektyn zwiększa liczbę grup karboksylowych, które mogą wiązać kationy i zmieniać stabilność koloidalną	W sokach mętnych niekontrolowana PME może pogarszać stabilność chmury, więc efekt zależy od celu produktu [8]
Stabilność mętnych soków cytrusowych	Często celem jest ograniczenie aktywności PME po przetworzeniu	Reszkowa PME może powodować kompleksowanie pektyn z wapniem i opadanie cząstek	Literatura dotycząca utrwalania skupia się często na inaktywacji, a nie dodawaniu PME [9]
Tekstura owoców i warzyw	Wzmocnienie sieci pektynowo-wapniowej i ograniczenie mięknięcia	Wolne grupy karboksylowe tworzą miejsca mostkowania wapniem między łańcuchami pektyny	Zbyt silna demetylacja lub obecność innych pektinaz może osłabić tkankę [11]
Modyfikacja pektyn funkcjonalnych	Zmiana żelowania, ładunku i reaktywności pektyny	Kontrolowane obniżenie stopnia metylacji oraz tworzenie domen naładowanych	Wynik zależy od wzoru demetylacji, pH i pochodzenia enzymu [2]
Fermentowane napoje owocowe	Zwykle wymagane jest ograniczenie niepożądanego demetylacji	PME uwalnia metanol z grup metylowych pektyny	Wysoki udział PME może być niekorzystny, jeśli metanol jest parametrem krytycznym [15]

Znaczenie pH, temperatury i matrycy surowcowej

PME nie działa w próżni chemicznej. Jej efekt zależy od pH, temperatury, rodzaju pektyny, zawartości soli, obecności wapnia, aktywności innych enzymów i struktury samej matrycy. Dlatego ten sam enzym może w jednym procesie wspierać klarowanie, w drugim wzmacniać teksturę, a w trzecim wymagać inaktywacji po zakończeniu etapu technologicznego [1].

pH wpływa nie tylko na szybkość reakcji enzymatycznej, ale też na jonizację grup karboksylowych powstających po demetylacji. Jeśli grupy te są bardziej zdysocjowane, oddziaływania z kationami stają się silniejsze, co może zwiększać znaczenie mostkowania wapniowego. Jednocześnie różne izoformy PME mogą wykazywać odmienne wzory działania w różnych zakresach pH, co potwierdzono w badaniach PME jabłkowej [5].

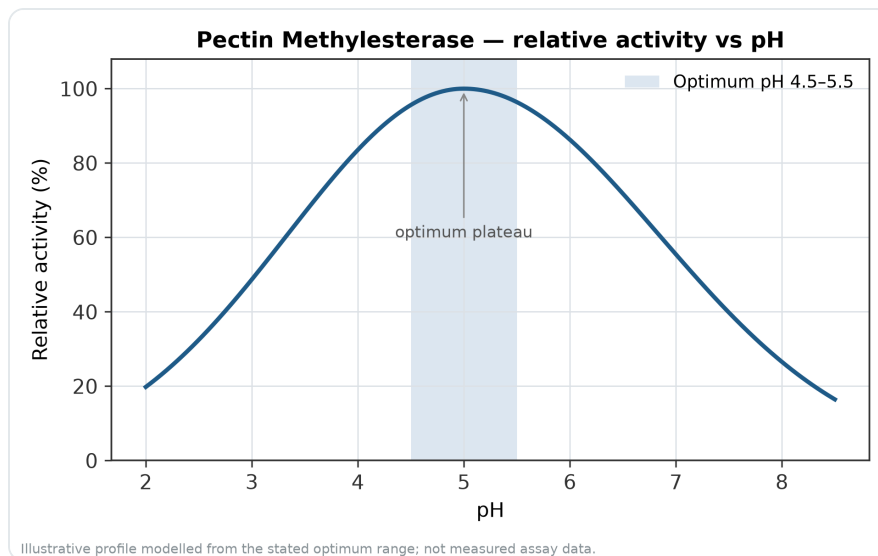


Figure 5. Relative activity of Pectin Methylesterase as a function of pH, showing the optimum plateau at pH 4.5–5.5.

Temperatura ma podwójne znaczenie: może przyspieszać reakcje enzymatyczne w użytecznym zakresie procesu, ale przy zbyt intensywnej obróbce prowadzi do utraty aktywności białka. Badania inaktywacji PME w przecierze ananasowym podczas połączonego działania wysokiego ciśnienia i temperatury pokazują, że stabilność enzymu jest ważnym parametrem w projektowaniu utrwalania produktów owocowych [10].

Matryca surowcowa decyduje o dostępności substratu. Pektyna w ścianie komórkowej nie zachowuje się tak samo jak oczyszczony homogalakturonan w modelowym roztworze. W tkance roślinnej dostęp enzymu do substratu ograniczają struktura ściany komórkowej, obecność celulozy, hemiceluloz, białek, jonów i naturalnych inhibitorów. Dlatego wyniki badań modelowych są bardzo cenne mechanistycznie, ale zawsze wymagają przełożenia na konkretny surowiec [13].

Wzór demetylacji: dlaczego „ile” to nie wszystko?

W technologii pektyn często mówi się o stopniu metylacji, ale dla PME równie ważny jest wzór rozmieszczenia demetylowanych miejsc. Dwie pektyny mogą mieć podobny ogólny poziom demetylacji, a mimo to zachowywać się inaczej, jeśli w jednej wolne grupy karboksylowe tworzą długie bloki, a w drugiej są rozproszone. To wpływa na żelowanie, agregację, wrażliwość na wapń i podatność na inne enzymy [4].

Prace nad wprowadzaniem naładowanych domen funkcjonalnych do zestryfikowanego homogalakturonanu przez PME cytrusową pokazują, że enzym może tworzyć określone regiony ładunku w cząsteczce pektyny. Takie domeny są istotne, ponieważ to one determinują lokalne miejsca

interakcji z kationami i innymi składnikami formułacji [2].

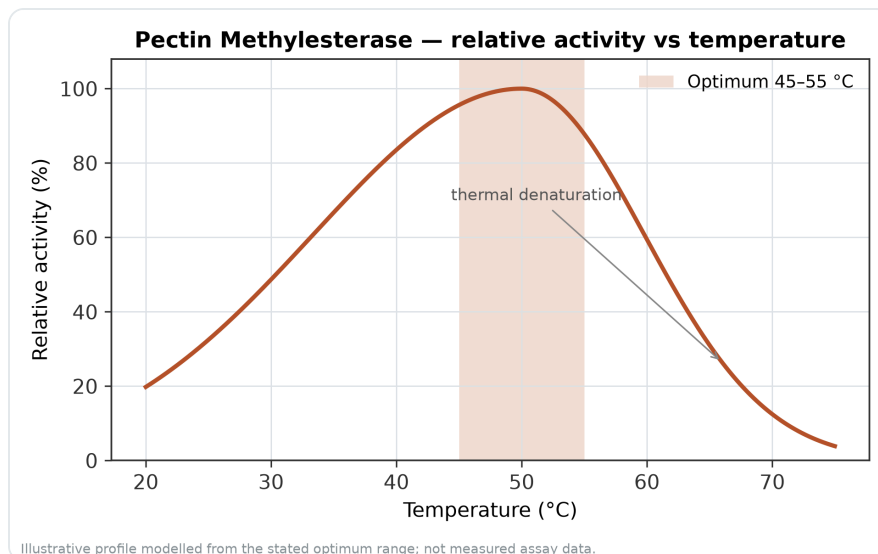


Figure 6. Relative activity of Pectin Methylesterase as a function of temperature, with the optimum at 45–55 °C and a characteristic thermal-denaturation fall-off above the optimum.

Z praktycznego punktu widzenia oznacza to, że PME należy oceniać przez efekt końcowy w produkcji, nie tylko przez sam fakt demetylacji. Jeśli celem jest sieciowanie wapniem, pożądanym może być bardziej blokowy układ grup karboksylowych. Jeśli celem jest przygotowanie pektyny do dalszej hydrolizy, inny wzór demetylacji może okazać się korzystniejszy. To jedna z przyczyn, dla których izoenzymy PME pochodzące z różnych źródeł nie są w pełni wymienne [1].

PME w biologii roślin: wskazówki dla technologii

Badania roślinne pokazują, jak silnie PME wpływa na strukturę ściany komórkowej. Mutacja AtPME2, opisanej jako pH-zależna pectin methylesterase, wpływała na strukturę ściany komórkowej i wydłużanie hipokotyli u *Arabidopsis*. Chociaż jest to model biologiczny, mechanizm opiera się na tych samych właściwościach pektyn: demetylacja zmienia mechanikę ściany komórkowej i jej zdolność do przebudowy [11].

PME uczestniczy też w reakcjach roślin na stres metali ciężkich, ponieważ demetylowane pektyny mogą wiązać kationy metali w ścianach komórkowych. Prace dotyczące grochu pod wpływem kadmu oraz roli krzemu wskazują, że aktywność PME wiąże się z mechanizmami wiązania kadmu przez pektyny. Dla przemysłu nie jest to bezpośrednia aplikacja spożywcza, ale potwierdza znaczenie chemii grup karboksylowych w oddziaływaniach z jonami [16].

Podobny kierunek pokazują badania nad tolerancją miedzi u ryżu, w których PME OsPME14 modyfikowała ścianę komórkową i wpływała na tolerancję rośliny wobec miedzi. Takie wyniki wzmacniają ogólną zasadę: demetylacja pektyn reguluje zdolność ściany komórkowej do wiązania jonów i zmiany właściwości mechanicznych [17].

Kiedy aktywność PME jest niepożądana?

W dokumentach technicznych o enzymach łatwo skupić się wyłącznie na korzyściach, ale PME jest przykładem enzymu, którego działanie bywa pożądane lub niepożądane zależnie od produktu. W sokach klarowanych demetylacja może wspierać usuwanie pektyn, natomiast w sokach mętnych resztkowa PME może prowadzić do utraty stabilności chmury. Z tego powodu obecność aktywności PME w termicznie stabilizowanych przemysłowych preparatach owocowych była przedmiotem badań już w literaturze technologicznej końca XX wieku [9].

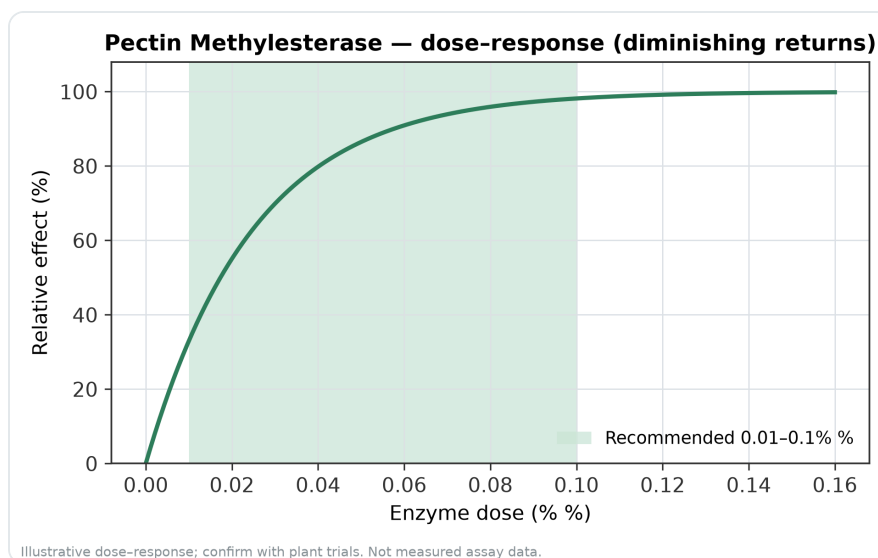


Figure 7. Illustrative dose-response for Pectin Methylase across the recommended use band (0.01–0.1% %).

Inaktywacja PME jest nadal ważnym tematem badawczym. Obróbka wysokim ciśnieniem w połączeniu z rekombinowanym inhibitorem PME była analizowana jako sposób ograniczania aktywności enzymu, a prace tego typu pokazują, że kontrola PME może obejmować zarówno warunki fizyczne, jak i oddziaływania białko-inhibitor [18].

Również wysokociśnieniowy ditlenek węgla był badany pod kątem inaktywacji PME i oksydazy polifenolowej w produktach naturalnych. Takie badania są istotne dla projektowania procesów minimalnie przetworzonych, w których zachowanie jakości sensorycznej musi być połączone z

ograniczeniem aktywności enzymów odpowiedzialnych za destabilizację, brązowienie lub zmiany tekstury [19].

Praktyczna interpretacja dla użytkowników B2B

Dla użytkownika przemysłowego PME należy rozumieć jako enzym do sterowania stanem pektyny. Jeżeli celem jest zmiana lepkości, klarowności lub podatności na filtrację, PME powinna być rozpatrywana w kontekście całego systemu pektolitycznego oraz obecności wapnia i innych jonów. Jeżeli celem jest struktura tkanki, kluczowe jest utrzymanie równowagi między demetylacją a integralnością ściany komórkowej [1].

W zastosowaniach związanych z modyfikacją pektyn ważne jest, że PME może zmieniać funkcjonalność bez konieczności silnej depolimeryzacji. To odróżnia ją od enzymów rozcinających łańcuch i pozwala wykorzystywać ją tam, gdzie istotne są właściwości polimeru jako materiału: zdolność do żelowania, interakcje z wapniem, tworzenie domen ładunku i zachowanie w formulacji [2].

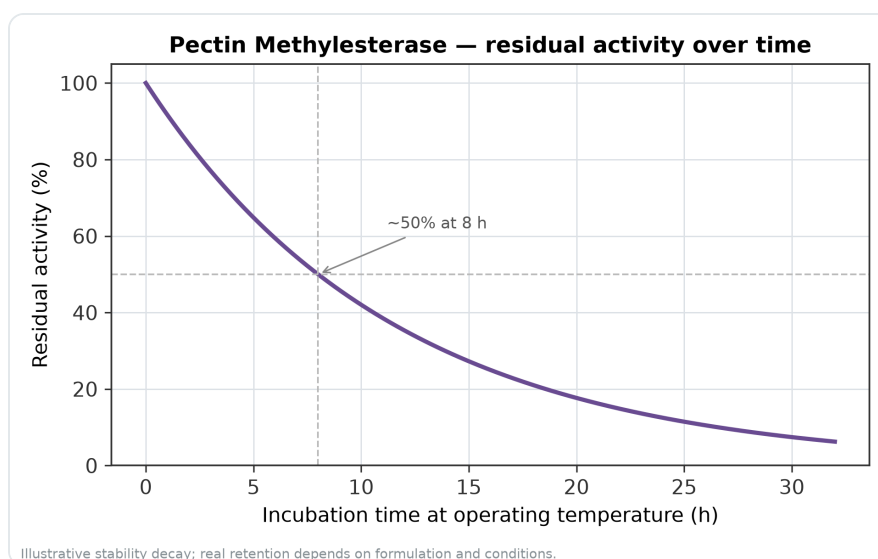


Figure 8. Illustrative thermal-stability decay of Pectin Methylesterase — residual activity falling over time at the operating temperature.

W procesach napojów fermentowanych trzeba uwzględnić fakt, że reakcja PME uwalnia metanol z grup metylowych pektyn. Nie oznacza to, że PME jest zawsze niepożądana, lecz że jej udział powinien odpowiadać celowi procesu i wymaganiom jakościowym produktu. Literatura dotycząca mandarynkowego wina Orah pokazuje, że niska aktywność PME w preparacie pektolitycznym może być korzystna, gdy priorytetem jest ograniczenie metanolu [15].

Pozycjonowanie produktu Enzymes.bio w dokumentacji technicznej

Pectin Methylesterase dostępna przez Enzymes.bio jest przeznaczona dla użytkowników, którzy potrzebują enzymu do kontrolowanej modyfikacji pektyn w pracach technologicznych i zastosowaniach B2B. Produkt jest sprzedawany online w jednostkach 1 kg, a dokumenty CoA i SDS są dostarczane wraz z zamówieniem. Enzymes.bio pełni rolę dostawcy; opis produktu nie powinien być interpretowany jako deklaracja prowadzenia produkcji enzymu ani badań laboratoryjnych przez firmę.

Najbardziej odpowiedzialne użycie PME opiera się na zrozumieniu mechanizmu: enzym usuwa grupy metylowe z pektyny, przez co zwiększa udział wolnych grup karboksylowych i zmienia interakcje polimeru z jonami, wodą i innymi składnikami matrycy. Ta sama reakcja może prowadzić do klarowania, sieciowania, zmiany tekstury lub destabilizacji, zależnie od tego, czy proces jest ukierunkowany na sok klarowany, sok mętny, tkankę owocowo-warzywną czy izolowaną pektynę ^[4].

W praktyce PME najlepiej traktować jako enzym precyzyjny, którego wartość wynika z kontroli nad funkcją pektyny. Nie jest to uniwersalny środek do „rozpuszczania” pektyn, lecz narzędzie do zmiany ich stopnia estryfikacji, wzoru ładunku i zdolności do tworzenia struktur wapniowo-pektynowych. Takie podejście jest zgodne z aktualnym rozumieniem PME jako enzymu regulującego właściwości ściany komórkowej, tekstury owoców, stabilności soków i funkcjonalności biopolimerów pektynowych ^[1].

Zamów Pectin Methylesterase online

Sprzedawany w jednostkach 1 kg, dostępny z magazynu i gotowy do wysyłki. Zamów bezpośrednio w naszym sklepie — zapłać online, a my przetworzymy Twoje zamówienie. Do każdego zamówienia dołączamy Certyfikat Analizy i Kartę Charakterystyki.

[Kup Pectin Methylesterase →](#)

Bibliografia

Ponumerowano według kolejności pierwszego cytowania. Źródła open access, każde zweryfikowane jako dostępne w momencie publikacji; numery cytowań w tekście prowadzą tutaj.

1. Kohli, P., Kalia, M., & Gupta, R. (2015). Pectin Methylesterases: A Review. *Journal of bioprocessing & biotechniques*, 5, 1-7.
2. Kim, Y., Williams, M. A. K., Luzio, G., & Cameron, R. (2017). Introduction and characterization of charged functional domains into an esterified pectic homogalacturonan by a citrus pectin methylesterase and comparison of its modes of action to other pectin methylesterase isozymes. *Food Hydrocolloids*, 69, 422-431.

3. Fries, M., Ihrig, J., Brocklehurst, K., Shevchik, V., & Pickersgill, R. (2007). Molecular basis of the activity of the phytopathogen pectin methylesterase. *EMBO Journal*, 26.
4. Cameron, R., Luzio, G., Goodner, K., & Williams, M. A. K. (2008). Demethylation of a model homogalacturonan with a salt-independent pectin methylesterase from citrus: I. Effect of pH on demethylated block size, block number and enzyme mode of action. *Carbohydrate Polymers*, 71, 287-299.
5. Denès, J., Baron, A., Renard, C., Péan, C., & Drilleau, J. (2000). Different action patterns for apple pectin methylesterase at pH 7.0 and 4.5. *Carbohydrate Research*, 327 4, 385-93 .
6. 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*.
7. 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.
8. 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*.
9. Castaldo, D., Laratta, B., Loiodice, 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.
10. 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*.
11. Hocq, L., Habrylo, O., Sénéchal, F., Voxeur, A., Pau-Roblot, C., Šafran, J., Fournet, F., ... et al. (2023). Mutation of AtPME2, a pH-Dependent Pectin Methylesterase, Affects Cell Wall Structure and Hypocotyl Elongation. *Plant and Cell Physiology*.
12. Yang, L., He, J., Qin, S., Li, X., Wang, X., & Lyu, D. (2025). MYB transcription factor MdMYB44 positively regulates fruit crispness by directly activating the expression of pectin methylesterase MdMPE3 in apple. *Plant physiology and biochemistry : PPB*, 224, 109936 .
13. Cameron, R., Luzio, G., Vasu, P., Savary, B., & Williams, M. A. K. (2011). Enzymatic modification of a model homogalacturonan with the thermally tolerant pectin methylesterase from Citrus: 1. Nanostructural characterization, enzyme mode of action, and effect of pH. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59 6, 2717-24 .
14. 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.
15. Du, Y., Zhao, Y., Wei, X., Zhang, Y., Dai, Y., Chen, Y., Ji, C., ... et al. (2025). Pectinase from Bacillus velezensis W6: A low pectin-methylesterase activity pectinase for enhancing quality and safety in Orah Mandarin wine and its mechanism for methanol reduction. *Food Bioscience*.
16. Gołębiowski, A., Szultka-Młyńska, M., Pomastowski, P., Rafińska, K., Orzoł, A., Cichorek, M., Olszewski, J., ... et al. (2024). Role of Silicon in Counteracting Cadmium Stress in Pea Plants (Pisum sativum L.): Insights Into Cadmium Binding Mechanisms and Pectin Methylesterase Activity. *Journal of soil science and plant nutrition*, 24, 5613 - 5625.

17. Wang, Y., Yi-Peng, Shangguan, X., Yan, J., Yu, X., Jing, W., Peng, K., ... et al. (2025). The pectin methylesterase OsPME14 modifies the cell wall to confer copper tolerance in *Oryza sativa* L. *The Plant Journal*, 122 4, e70173 .
18. Li, Y., Zhang, W., Jiang, Y., Devanastin, S., Hu, X., Song, Z., & Yi, J. (2024). Inactivation mechanisms on pectin methylesterase by high pressure processing combined with its recombinant inhibitor. *Food Chemistry*, 446, 138806 .
19. 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*.

Skontaktuj się z Enzymes.bio

Masz pytania dotyczące zamówienia? Nasz zespół chętnie pomoże.

E-MAIL wholesale@enzymes.bio

TELEFON (USA) **+1 (507) 428-6057**

[Skontaktuj się z nami →](#)



400+ klientów B2B



60+ partnerów badawczych z uczelni



54 obsługiwanych na całym świecie

© 2026 Enzymes.bio · Dostawy enzymów przemysłowych i do przetwórstwa żywności · Nie do spożycia przez ludzi ani sprzedaży detalicznej.