

Pectin Methyltransferase cho chế biến trái cây và điều chỉnh pectin

Nhóm Nghiên cứu Enzymes.bio · Wellington, New Zealand · June 20, 2026

Pectin methyltransferase (PME) là enzyme biến đổi pectin bằng cách loại bỏ nhóm methyl ester trên mạch homogalacturonan, tạo pectin có nhiều nhóm carboxyl tự do hơn và dễ tương tác với calcium. Trong ứng dụng B2B, PME được quan tâm nhất ở các quy trình điều chỉnh cấu trúc mô trái cây – rau củ, kiểm soát gel pectin, xử lý nguyên liệu giàu pectin và quản lý độ ổn định của sản phẩm nước quả ^[1].

PME không nên được hiểu đơn giản là “enzyme phá pectin”. Điểm mạnh của enzyme này nằm ở khả năng **thay đổi trạng thái hóa học của pectin** trước khi pectin tạo gel, kết tủa, giữ nước, ổn định huyền phù hoặc được các enzyme pectinase khác xử lý tiếp ^[2].

Pectin methyltransferase là gì?

Pectin methyltransferase, thường viết tắt là **PME** và đôi khi được gọi là **pectinesterase**, là enzyme tác động lên pectin — nhóm polysaccharide giàu acid galacturonic trong thành tế bào thực vật. Thay vì cắt mạch polymer như polygalacturonase hoặc lyase, PME chủ yếu thủy phân liên kết methyl ester trên pectin, làm giảm mức độ methyl ester hóa và tạo pectin khử methyl ester ^[3].

Trong mô thực vật, pectin góp phần quyết định độ bám dính giữa tế bào, tính đàn hồi của thành tế bào và khả năng giữ nước của mô quả. Khi PME làm lộ thêm nhóm carboxyl trên pectin, điện tích âm của mạch pectin tăng lên; điều này làm thay đổi cách pectin tương tác với ion dương, protein, nước và các polysaccharide khác trong thành tế bào ^[4].

Ý nghĩa công nghiệp của PME đến từ sự chuyển đổi “nhỏ nhưng có hệ quả lớn” này. Một nguyên liệu giàu pectin có thể chuyển từ trạng thái nhớt, ổn định huyền phù hoặc khó lọc sang trạng thái dễ tạo mạng ion, dễ kết tụ, dễ bị enzyme khác tiếp tục phân giải hoặc có kết cấu mô khác biệt, tùy điều kiện quy trình và mục tiêu sản phẩm ^[5].

Cơ chế hoạt động: PME làm gì với pectin?

Từ pectin methyl ester hóa đến pectin khử methyl ester

Pectin trong thành tế bào và nguyên liệu trái cây thường có các đoạn homogalacturonan chứa nhóm methyl ester. PME xúc tác quá trình khử ester, chuyển một phần các nhóm này thành nhóm carboxyl tự do; do đó pectin sau xử lý có mật độ điện tích cao hơn và phản ứng khác với môi trường ion xung quanh [6].

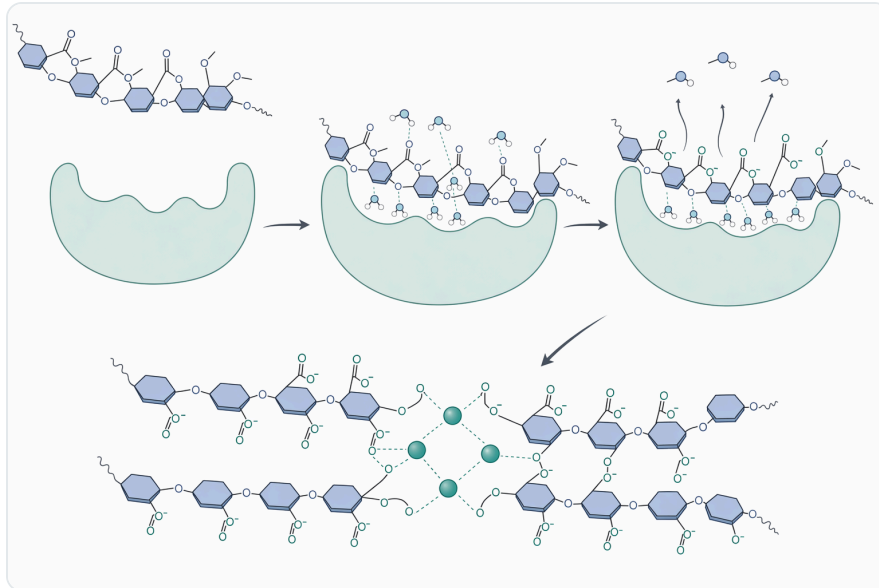


Figure 1. Pectin methyl esterase removes methyl ester groups from pectin, generating low-methoxyl pectin regions that can form calcium-mediated gels.

Khi nhiều nhóm carboxyl nằm gần nhau trên chuỗi pectin, chúng có thể liên kết với calcium để tạo vùng liên kết ion thường được mô tả bằng mô hình “egg-box”. Cơ chế này đặc biệt quan trọng trong các hệ cần tăng độ chắc mô hoặc tạo gel pectin hàm lượng methyl ester thấp, vì calcium có thể “bắt cầu” giữa các chuỗi pectin đã khử methyl ester [1].

Tuy nhiên, cùng một cơ chế có thể tạo kết quả trái ngược trong đồ uống trái cây. Nếu sản phẩm cần giữ độ đục tự nhiên, quá trình PME nội sinh làm pectin khử methyl ester rồi tương tác với calcium có thể dẫn đến kết tụ pectin, giảm khả năng giữ huyền phù và gây mất ổn định cloud trong bảo quản [5].

Vì sao PME khác với “pectinase” nói chung?

Trong thực tế thương mại, thuật ngữ pectinase thường được dùng rộng rãi cho nhiều enzyme xử lý pectin. PME chỉ là một thành phần trong nhóm đó: enzyme này **không chủ yếu cắt ngắn mạch pectin**, mà chuẩn bị hoặc biến đổi cơ chất bằng cách thay đổi trạng thái methyl ester của pectin [2].

Điều này tạo ra sự khác biệt quan trọng khi chọn hướng ứng dụng. Nếu mục tiêu là giảm nhớt mạnh, phá vỡ pectin để làm trong nước quả hoặc tạo oligosaccharide từ pectin, quy trình thường cần các enzyme cắt mạch bổ sung; còn nếu mục tiêu là điều chỉnh khả năng tạo gel với calcium hoặc thay đổi kết cấu mô, PME có thể đóng vai trò trung tâm hơn [2].

Vì sao pectin methylesterase quan trọng trong chế biến thực vật?

Pectin là thành phần cấu trúc có giá trị trong trái cây, rau củ và phụ phẩm nông nghiệp. Các nghiên cứu về khai thác pectin từ phụ phẩm nông – công nghiệp cho thấy pectin không chỉ là “chất gây nhớt” mà còn là nguyên liệu chức năng cho thực phẩm, vật liệu sinh học và hệ gel, vì đặc tính lưu biến và khả năng tạo mạng của nó [7].

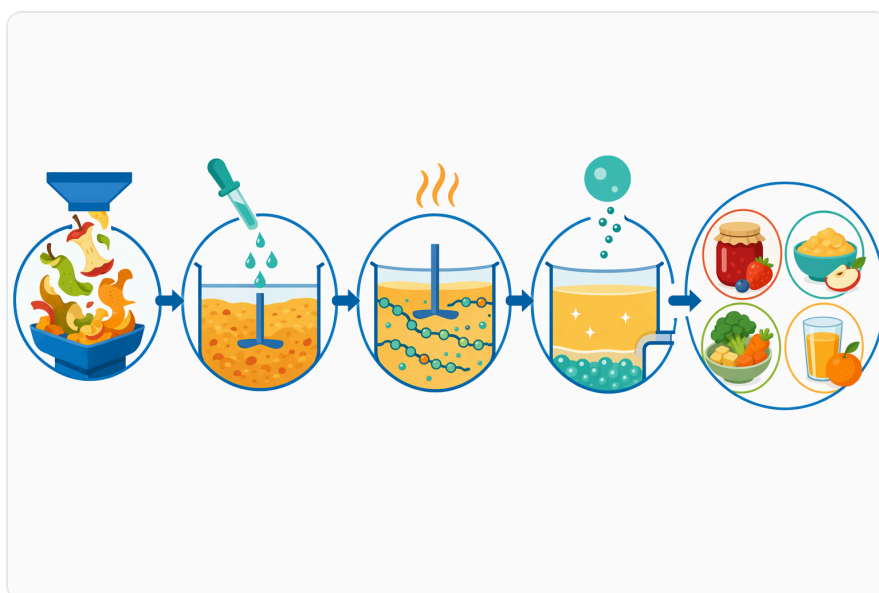


Figure 2. Industrial PME processing converts native pectin in fruit materials into controlled low-methoxyl pectin functionality for texture, clarification, and gel formation.

Trong chế biến, pectin có thể vừa là lợi thế vừa là rào cản. Nó giúp tạo độ sệt, giữ nước và ổn định cấu trúc, nhưng cũng có thể làm tăng độ nhớt quá mức, cản lọc, gây đục không mong muốn hoặc làm thay đổi kết cấu trong thời gian lưu kho. PME là công cụ để dịch chuyển trạng thái của pectin thay vì loại bỏ hoàn toàn pectin khỏi hệ [8].

Điểm cần nhấn mạnh là PME không có một “hiệu ứng tốt” cố định cho mọi sản phẩm. Trong một sản phẩm trái cây cắt, PME phối hợp với calcium có thể giúp tăng độ chắc; trong một loại nước quả giữ đục, cùng hoạt tính PME đó lại có thể là nguyên nhân cần bất hoạt để duy trì cloud stability [5].

Bảng so sánh: PME trong các mục tiêu ứng dụng khác nhau

Mục tiêu quy trình	Vai trò của PME	Kết quả mong muốn	Rủi ro nếu kiểm soát kém	Nguồn bằng chứng liên quan
Tăng hoặc duy trì độ chắc mô trái cây – rau củ	Tạo pectin khử methyl ester để tăng khả năng liên kết với calcium	Mô chắc hơn, giảm mềm hóa, cấu trúc thành tế bào ổn định hơn	Kết cấu quá cứng, không đồng đều hoặc phụ thuộc mạnh vào phân bố calcium	Nghiên cứu về pectin methyl ester thấp và cấu trúc egg-box qua calcium trong quả táo tàu sấy [1]
Giữ ổn định đục trong nước quả	Thường cần kiểm soát hoặc bất hoạt PME nội sinh	Hạn chế kết tụ pectin-calcium, duy trì huyền phù	Mất cloud, lắng cặn, thay đổi cảm quan	Thermo-sonication và bất hoạt PME trong nước quýt Nagpur liên quan đến cloud stability [5]
Làm trong hoặc hỗ trợ lọc	PME có thể biến đổi pectin để hỗ trợ bước xử lý pectin tiếp theo	Giảm trở ngại do pectin trong hệ xử lý phối hợp	Nếu thiếu enzyme cắt mạch, hiệu quả giảm nhớt có thể không đủ	Hệ enzyme pectinolytic tạo oligosaccharide từ pectin [2]
Phát triển gel pectin	Tạo vùng pectin khử methyl ester có khả năng liên kết ion	Gel hoặc mạng polymer có tính chất lưu biến mong muốn	Khử methyl ester quá mức có thể gây gel hóa/kết tụ ngoài ý muốn	Pectin methyl ester thấp và cấu trúc egg-box Ca^{2+} [1]
Chuẩn bị nguyên liệu cho pectin-derived oligosaccharides	Điều chỉnh cơ chất pectin trước hoặc cùng enzyme khác	Tăng khả năng tạo POS khi phối hợp hệ pectinolytic	Dùng PME đơn lẻ không tạo oligosaccharide đáng kể	Hệ enzyme nấm tạo pectin-derived oligosaccharides từ pomelo albedo [2]

Ứng dụng 1: Điều chỉnh độ chắc của trái cây và rau củ

Một trong những hướng ứng dụng dễ hiểu nhất của pectin methylesterase là điều chỉnh cấu trúc mô thực vật. Khi PME tạo thêm nhóm carboxyl trên pectin, calcium có thể liên kết các chuỗi pectin lại với nhau, hình thành mạng ion giúp củng cố middle lamella và thành tế bào trong điều kiện phù hợp [\[1\]](#).

Các nghiên cứu về bất hoạt PME trong nền nước quả cho thấy ngành thực phẩm quan tâm lớn đến việc kiểm soát enzyme này. Thermo-sonication được nghiên cứu cho nước quýt Nagpur với trọng tâm là bất hoạt PME và cải thiện cloud stability, còn ultrasound cũng được khảo sát trong nước jaboticaba cùng với biến đổi phenolic, hợp chất bay hơi và các enzyme gây biến đổi chất lượng khác [[14], [16]].

Các công nghệ không nhiệt hoặc nhiệt nhẹ như CO₂ áp suất cao, áp suất cao kết hợp nhiệt và siêu âm được nghiên cứu vì PME có thể còn hoạt tính sau xử lý thông thường hoặc ảnh hưởng đến chất lượng trong bảo quản. Điều này cho thấy với đồ uống, câu hỏi kỹ thuật không phải lúc nào cũng là “có nên bổ sung PME không”, mà thường là “cần kiểm soát hoạt tính PME ở mức nào cho mục tiêu sản phẩm” [19].

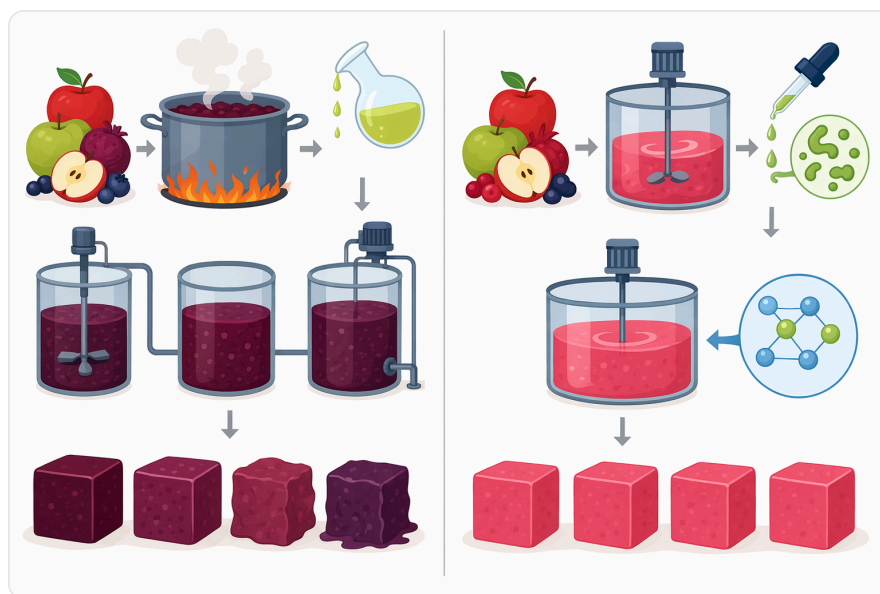


Figure 4. Compared with harsher chemical or thermal pectin modification, PME enables milder and more selective control of pectin demethylation and calcium gelation.

Ứng dụng 3: Biến tính pectin và phát triển hệ gel

PME là công cụ hữu ích trong biến tính pectin vì nó thay đổi phân bố nhóm carboxyl mà không nhất thiết phá vỡ mạch polymer. Với pectin có mức methyl ester thấp hơn, khả năng tạo mạng với calcium tăng, mở ra hướng phát triển gel, cấu trúc bán rắn hoặc hệ giữ nước có tính chất khác so với pectin methyl ester hóa cao [1].

Trong công thức thực phẩm, sự khác nhau giữa pectin methyl ester cao và thấp ảnh hưởng đến điều kiện tạo gel, độ đàn hồi, khả năng giữ nước và độ ổn định của cấu trúc. Các nghiên cứu về khai thác pectin từ phụ phẩm nông nghiệp nhấn mạnh rằng giá trị của pectin nằm ở khả năng tạo cấu trúc và chức năng, không chỉ ở vai trò phụ gia làm đặc [7].

PME có thể được dùng như một bước điều chỉnh trước khi phối hợp với calcium hoặc các thành phần tạo cấu trúc khác. Tuy vậy, phản ứng cần được kiểm soát ở cấp độ quy trình vì pectin khử methyl ester quá nhiều hoặc phân bố nhóm carboxyl không phù hợp có thể dẫn đến gel hóa sớm, kết tụ hoặc thay đổi cảm quan ngoài dự kiến [1].

Ứng dụng 4: Hỗ trợ hệ enzyme pectinase và tạo pectin-derived oligosaccharides

Trong xử lý phụ phẩm thực vật, pectin có thể được chuyển hóa thành pectin-derived oligosaccharides (POS), nhóm oligosaccharide đang được quan tâm vì tiềm năng chức năng sinh học và tiền sinh học. Nghiên cứu về hệ enzyme pectinolytic từ nấm cho thấy pomelo albedo có thể là nguồn cơ chất để tạo POS chuỗi dài và chuỗi ngắn [2].

Trong các hệ như vậy, PME thường không phải enzyme duy nhất. Vai trò hợp lý của PME là làm thay đổi mức methyl ester hóa, qua đó ảnh hưởng đến khả năng các enzyme khác nhận diện, cắt mạch hoặc giải phóng phân đoạn pectin mong muốn [2].

Ứng dụng này đặc biệt liên quan đến xu hướng khai thác phụ phẩm rau quả. Các tổng quan gần đây về phụ phẩm thực vật và khai thác pectin từ phụ phẩm nông - công nghiệp cho thấy vỏ, bã, lõi và phần không ăn được của nguyên liệu thực vật có thể chứa polysaccharide, chất xơ và hợp chất chức năng có giá trị, nếu được xử lý bằng công nghệ phù hợp [8].

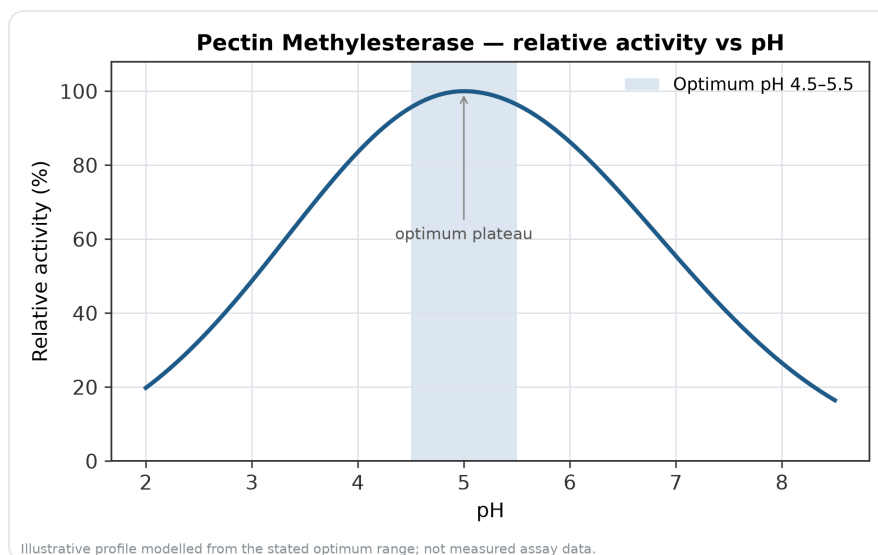


Figure 5. Relative activity of Pectin Methyltransferase as a function of pH, showing the optimum plateau at pH 4.5–5.5.

Nguồn enzyme và khác biệt kỹ thuật cần lưu ý

PME có thể có nguồn gốc từ thực vật hoặc vi sinh vật. Các nghiên cứu về biểu hiện PME từ vi khuẩn *Pectobacterium chrysanthemi* trong *Pichia pastoris* và tổng hợp PME từ *Aspergillus niger* trong lên men chìm cho thấy enzyme này có thể được tạo ra bằng nhiều hệ sinh học khác nhau, mỗi hệ có đặc điểm protein và bối cảnh ứng dụng riêng [[13], [21]].

Sự khác biệt nguồn enzyme có thể ảnh hưởng đến pH hoạt động ưu tiên, độ bền nhiệt, kiểu tác động trên mạch pectin và mức độ phù hợp với nền nguyên liệu. Ở cấp độ ứng dụng, điều quan trọng không phải chỉ là tên enzyme “pectin methylesterase”, mà là cách enzyme đó tương tác với loại pectin cụ thể trong nguyên liệu [10].

Trong trái cây và rau củ, PME nội sinh cũng tồn tại sẵn trong mô. Vì vậy, khi xử lý một nguyên liệu thực vật, tổng hiệu ứng có thể đến từ cả PME bổ sung và PME bản địa, cùng với các enzyme thành tế bào khác như polygalacturonase, peroxidase hoặc enzyme oxy hóa liên quan đến màu và hương [11].

Điều kiện quy trình ảnh hưởng đến kết quả như thế nào?

PME là protein xúc tác nên nhạy với môi trường phản ứng. pH, nhiệt độ, thời gian tiếp xúc, độ ẩm, loại pectin, mức methyl ester hóa ban đầu, hàm lượng calcium và sự có mặt của các chất hòa tan đều có thể làm thay đổi kết quả cuối cùng [10].

Trong nền puree hoặc nước quả, độ bền của PME là vấn đề được nghiên cứu nhiều vì enzyme còn sót lại có thể tiếp tục biến đổi pectin sau khi sản phẩm đã được xử lý. Nghiên cứu mô hình hóa bất hoạt PME trong puree dưa dưới xử lý áp suất cao kết hợp nhiệt cho thấy cần xem enzyme này như một biến số chất lượng quan trọng, không chỉ là thành phần phụ trong nền trái cây [12].

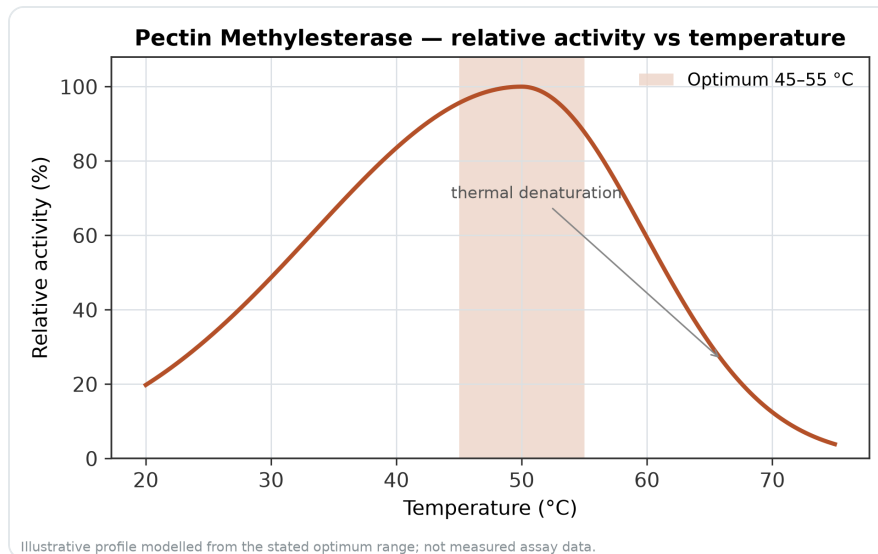


Figure 6. Relative activity of Pectin Methyltransferase as a function of temperature, with the optimum at 45–55 °C and a characteristic thermal-denaturation fall-off above the optimum.

Tài liệu về các chế phẩm trái cây công nghiệp đã xử lý nhiệt cũng ghi nhận hoạt tính PME tồn dư, cho thấy xử lý nhiệt thông thường không phải lúc nào cũng đảm bảo loại bỏ hoàn toàn tác động của enzyme này. Điều đó giải thích vì sao một số sản phẩm có thể thay đổi độ đục, độ nhớt hoặc kết cấu trong thời gian bảo quản dù đã qua ổn định nhiệt [6].

Các công nghệ như CO₂ áp suất cao, siêu âm và thermo-sonication được nghiên cứu để kiểm soát PME cùng các enzyme khác. Tuy nhiên, các công nghệ này không nên được diễn giải như giải pháp phổ quát; chúng cho thấy rằng PME là mục tiêu kỹ thuật quan trọng trong bảo toàn chất lượng sản phẩm trái cây và cần được đánh giá theo từng nền sản phẩm [[10], [14]].

Khi nào nên nghĩ đến PME — và khi nào cần thận trọng?

PME phù hợp khi mục tiêu là **điều chỉnh pectin**, không chỉ loại bỏ pectin. Các trường hợp điển hình gồm tăng độ chắc mô với calcium, phát triển gel pectin methyl ester thấp, chuẩn bị cơ chất cho hệ pectinase phối hợp hoặc thay đổi hành vi lưu biến của nguyên liệu giàu pectin [1].

Cần thận trọng khi sản phẩm cần duy trì huyền phù đục ổn định. Trong nước quả đục, PME nội sinh hoặc PME bổ sung có thể làm giảm ổn định nếu pectin khử methyl ester tương tác với calcium và hình thành kết tủa, vì vậy mục tiêu ở đây thường là kiểm soát hoặc bất hoạt PME thay vì tăng hoạt tính của nó [5].

Cũng cần phân biệt PME với các enzyme cắt mạch pectin. Nếu vấn đề chính là độ nhớt quá cao hoặc cần tạo oligosaccharide, PME đơn lẻ có thể không đủ; hệ enzyme cần được thiết kế để có cả bước khử methyl ester và bước phân cắt phù hợp, như cách các hệ pectinolytic được nghiên cứu trong sản xuất POS [2].

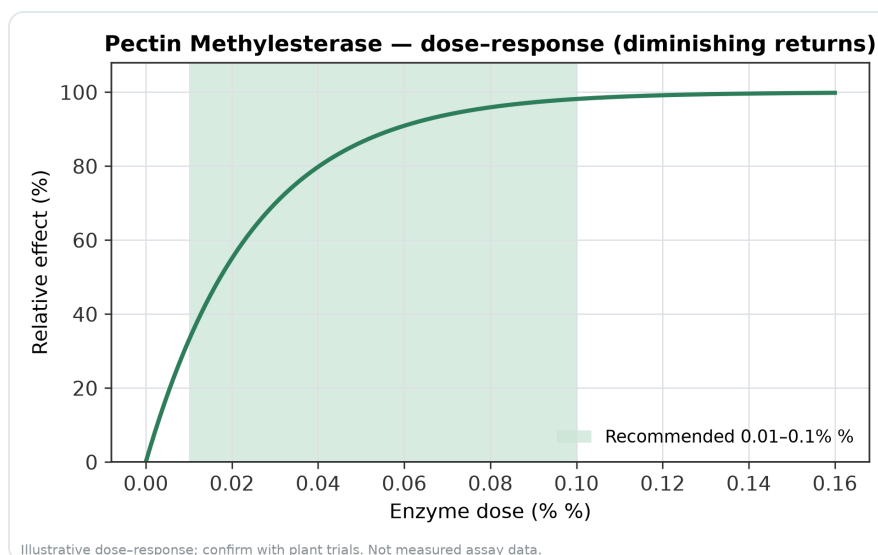


Figure 7. Illustrative dose-response for Pectin Methylesterase across the recommended use band (0.01–0.1% %).

Liên hệ với phụ phẩm thực vật và kinh tế tuần hoàn

Nhu cầu khai thác phụ phẩm nông nghiệp đang làm tăng quan tâm đến enzyme xử lý pectin. Nhiều phụ phẩm như vỏ trái cây, bã ép, albedo, vỏ hạt hoặc phần xơ của rau củ chứa pectin, hemicellulose, cellulose và hợp chất phenolic, có thể trở thành nguồn nguyên liệu cho chất xơ, pectin hoặc oligosaccharide chức năng [8].

Các nghiên cứu về pectin từ phụ phẩm nông – công nghiệp nhấn mạnh rằng phương pháp chiết xuất và biến tính quyết định mạnh đến cấu trúc pectin thu được. PME có thể được xem là một công cụ biến tính sau chiết hoặc trong xử lý cơ chất, nhưng giá trị cuối cùng phụ thuộc vào thiết kế toàn bộ chuỗi quy trình [7].

Một số phụ phẩm như vỏ hazelnut cũng được nghiên cứu như nguồn polyphenol và chất xơ cho ứng dụng thực phẩm chức năng. Dù không phải mọi phụ phẩm đều là nền pectin lý tưởng, xu hướng này cho thấy các enzyme liên quan đến polysaccharide thực vật, trong đó có PME, ngày càng có vai trò trong phát triển nguyên liệu giá trị gia tăng [13].

Độ an toàn, tài liệu chất lượng và phạm vi sử dụng

Vì enzyme là protein hoạt tính sinh học, việc sử dụng trong thực phẩm, đồ uống hoặc nguyên liệu chức năng cần phù hợp với quy định của thị trường đích và mục đích sử dụng cụ thể. Các nghiên cứu về bất hoạt PME trong sản phẩm trái cây cho thấy enzyme có thể ảnh hưởng đến chất lượng sau xử lý, nên đánh giá ứng dụng cần đặt trong nền sản phẩm thực tế chứ không chỉ dựa trên tên enzyme [6].

Đối với người dùng công nghiệp, thông tin đi kèm như CoA và SDS giúp hỗ trợ quản lý hồ sơ chất lượng, an toàn lưu trữ và truy xuất lô hàng. Enzymes.bio cung cấp các tài liệu này kèm theo khi đặt hàng, nhưng Enzymes.bio là **nhà cung cấp**, không phải nhà sản xuất enzyme hay phòng thí nghiệm kiểm nghiệm.

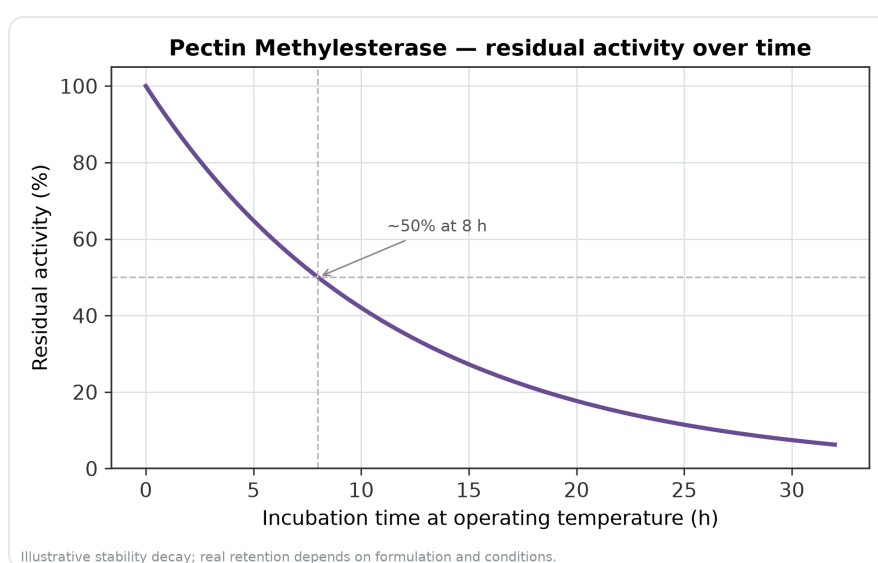


Figure 8. Illustrative thermal-stability decay of Pectin Methyltransferase — residual activity falling over time at the operating temperature.

Pectin Methyltransferase tại Enzymes.bio được bán trực tiếp online theo đơn vị **1 kg**. Nội dung kỹ thuật trong bài viết này nhằm giúp người dùng hiểu cơ chế, phạm vi ứng dụng và giới hạn diễn giải của PME; việc áp dụng vào sản phẩm cụ thể vẫn cần dựa trên yêu cầu quy trình, tiêu chuẩn nội bộ và quy định liên quan.

Tóm tắt kỹ thuật

Pectin methyltransferase là enzyme điều chỉnh pectin bằng cách giảm mức methyl ester hóa, tạo pectin có nhiều nhóm carboxyl tự do hơn. Sự thay đổi này làm pectin dễ tương tác với calcium, để tham gia mạng gel hoặc dễ trở thành cơ chất phù hợp hơn cho các bước xử lý pectinase tiếp theo [1].

Trong chế biến trái cây và rau củ, PME có giá trị khi mục tiêu là kiểm soát texture, phát triển gel pectin hoặc xử lý nguyên liệu giàu pectin. Tuy nhiên, trong nước quả đục, PME có thể làm giảm cloud stability nếu không được kiểm soát, vì vậy enzyme này phải được sử dụng hoặc bất hoạt theo mục tiêu công nghệ rõ ràng [5].

Cách nhìn thực tế nhất là xem PME như một **công cụ biến tính pectin có chọn lọc**, không phải giải pháp chung cho mọi vấn đề liên quan đến pectin. Khi được đặt đúng vai trò trong hệ enzyme và nền nguyên liệu, PME có thể hỗ trợ tạo cấu trúc, điều chỉnh lưu biến và khai thác hiệu quả hơn các nguồn polysaccharide thực vật [2].

Đặt mua Pectin Methylesterase trực tuyến

Bán theo đơn vị 1 kg, có sẵn trong kho và sẵn sàng giao hàng. Đặt mua trực tiếp trên cửa hàng của chúng tôi — thanh toán trực tuyến và chúng tôi sẽ xử lý đơn hàng. Mỗi đơn hàng đều kèm Chứng nhận Phân tích và Bảng Dữ liệu An toàn.

[Mua Pectin Methylesterase →](#)

Tài liệu tham khảo

Được đánh số theo thứ tự trích dẫn đầu tiên. Các nguồn truy cập mở, đều được xác minh có thể truy cập tại thời điểm xuất bản; số trích dẫn trong bài liên kết đến đây.

1. Niu, X., Xu, M., Mravec, J., Zhang, W., Deng, L., Chen, G., Lv, W., ... et al. (2026). Pulsed vacuum drying remodels the texture of dried jujube by regulating low-methylesterified pectin and Ca²⁺-mediated egg-box structures. *Food Chemistry*, 517, 149431 .
2. 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*.
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. Li, J., Wu, Z., Zhu, Z., Xu, L., Wu, B., & Li, J. (2022). Botrytis cinerea mediated cell wall degradation accelerates spike stalk browning in Munage grape. *Journal of food biochemistry*, e14271 .
5. 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*.
6. 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.

7. 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.
8. 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.
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. 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*.
11. 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 .
12. 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*.
13. Alasalvar, C., & Tuncil, Y. E. (2026). Hazelnut skin as an industrial coproduct: Novel source of polyphenols and dietary fibre for functional food applications and health benefits. *Food Chemistry*, 511, 148851 .

Liên hệ Enzymes.bio


Có câu hỏi về đơn hàng? Đội ngũ của chúng tôi luôn sẵn sàng hỗ trợ.


EMAIL wholesale@enzymes.bio

ĐIỆN THOẠI (HOA KỲ) **+1 (507) 428-6057**

[Liên hệ với chúng tôi →](#)

 **400+** khách hàng B2B

 **60+** đối tác nghiên cứu đại học

 **54** phục vụ trên toàn cầu

© 2026 Enzymes.bio · Cung ứng enzyme công nghiệp & chế biến thực phẩm · Không dùng cho người tiêu thụ hoặc bán lẻ.