

Pectin Methylesterase (果膠甲基酯酶，PME)：用於果汁澄清、果蔬質地調控與果膠改質的關鍵酵素

Enzymes.bio 研究團隊 · 紐西蘭威靈頓 · June 21, 2026

Pectin methylesterase (PME，果膠甲基酯酶 / 果膠甲基酯化酶) 是一類催化果膠甲基酯鍵水解的酵素，可降低果膠甲基化程度，進而改變果膠的電荷、鈣離子交聯能力、黏度與凝膠行為。

在食品與植物材料加工中，PME 的主要價值不是單純「分解果膠」，而是透過去甲基酯化重塑果膠結構，使果汁澄清、果蔬硬度保持、凝膠質地設計或後續果膠降解更容易被控制。

Enzymes.bio 供應的 pectin methylesterase 產品以 1 kg 單位線上銷售，出貨時隨訂單提供 CoA 與 SDS；本文件說明其技術背景與應用邏輯，不代表製造端規格或實驗室測試服務。

酵素名稱與主要應用定位

酵素名稱：Pectin Methylesterase

常用縮寫：PME

中文名稱：果膠甲基酯酶、果膠甲基酯化酶

主要作用：催化果膠中甲基酯化半乳糖醛酸殘基的去甲基酯化，生成游離羧基並釋放甲醇。

主要應用：果汁與蔬果飲品處理、果蔬組織硬度與口感調控、果膠凝膠與低甲氧基果膠功能設計、植物細胞壁研究、含果膠生物質轉化與材料改性。

PME 的底物核心通常是果膠中的 homogalacturonan 區段，也就是由 α -1,4 連接的半乳糖醛酸單元構成的主鏈；其中部分羧基以甲基酯形式存在。當 PME 移除這些甲基酯後，果膠分子上的負電荷增加，對鈣離子、pH、其他果膠酶與加工壓力的反應都會改變，因此它在果膠化學與食品質地工程中具有樞紐角色 ^[1]。

PME 的核心機制：去甲基酯化如何改變果膠行為

PME 的催化反應可簡化為三個連續結果：第一，酵素辨識果膠鏈上甲基酯化的半乳糖醛酸殘基；第二，水解甲基酯鍵，使該位置轉為游離羧酸 / 羧酸鹽；第三，這些新產生的羧基改變果膠分子的溶解性、離子結合能力與後續可降解性。研究綜述指出，PME 與其抑制蛋白共同參與植物果膠甲基化狀態

的精細調節，這也是植物細胞壁力學性質、果實成熟與加工反應差異的重要原因 [2]。

去甲基酯化後的果膠可以朝兩種看似相反的方向發展。若環境中有適當的鈣離子，連續的去甲基化區段可形成較有序的鈣橋交聯，常被描述為「egg-box」型結構，讓果膠網絡更緊密、凝膠性或組織硬度提高；但若同時存在 polygalacturonase (PG) 等降解型果膠酶，去甲基化的果膠反而可能更容易被裂解，使黏度下降、顆粒沉降加速，進而有利於澄清與過濾 [3]。

因此，pectin methylesterase 的工業效果不能只用「增加硬度」或「降低黏度」單一詞彙概括。它更像是一個果膠結構開關：在富含鈣離子且降解酵素受控的條件下，可促進組織強化；在與 PG、pectin lyase 或其他果膠酶協同時，則可促進果膠網絡解構。不同來源的 PME 也可能呈現較區段式或較隨機的去甲基化模式，這會影響最終凝膠與流變表現 [4]。

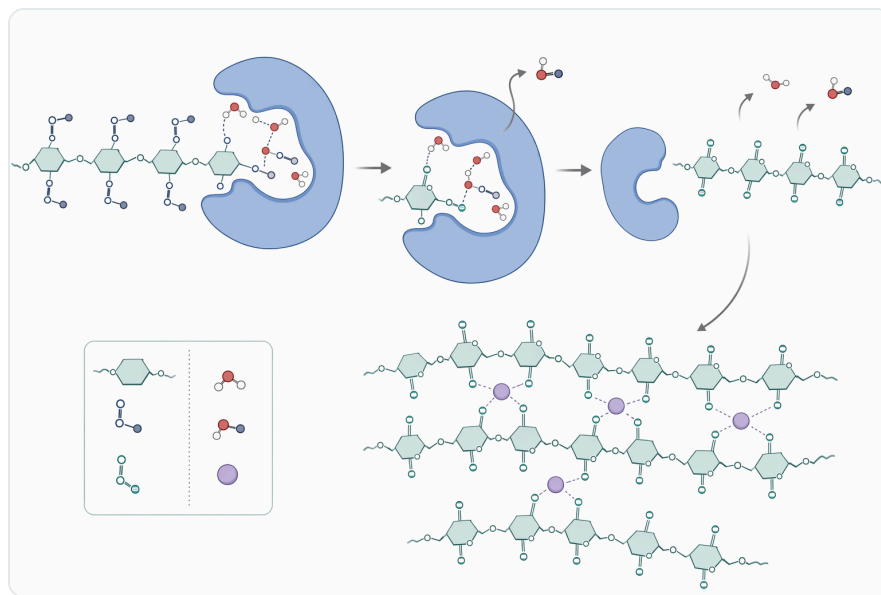


Figure 1. PME hydrolyzes methyl ester groups on homogalacturonan to create free carboxyl groups and release methanol, changing pectin charge and reactivity.

為什麼 PME 在果汁與果蔬加工中特別重要

果汁、果漿與蔬果均質液中的果膠常造成高黏度、懸浮穩定、濾速下降與渾濁不易去除。單獨使用降解型果膠酶時，若果膠甲基化程度較高，酵素可接近性與降解效率可能受限；PME 先改變甲基化狀態後，可使後續果膠水解或沉降更有效率。來自 *Aspergillus niger* 的 PME 表達與應用研究即將其定位於果實加工場景，說明 PME 可作為果膠改質與果汁處理的一部分 [5]。

在番茄、草莓、鳳梨、柑橘類果汁與其他果漿中，PME 也常被討論為加工穩定性的關鍵酵素。原因在於天然原料本身含有內源性 PME；若處理後仍殘留活性，產品在儲存期間可能繼續發生果膠去甲基化，導致雲霧穩定性、血清分離、黏度或沉澱狀態變化。工業果製品即使經熱穩定處理，仍可能偵測

到殘餘 PME 活性，顯示製程對其控制需要納入品質設計 [6]。

對供應鏈與產品開發而言，外加 PME 與內源性 PME 是兩個不同概念。外加 PME 的目標通常是在人為設定的時間窗內完成果膠結構調整；內源性 PME 則可能是加工後品質變動的來源，需要透過熱、高壓、二氧化碳高壓、電場或其他非熱處理技術降低其影響。鳳梨汁、鳳梨泥與番茄均質液相關研究皆將 PME 失活視為維持產品質地與穩定性的核心指標之一 [7]。

主要應用場景比較

應用場景	PME 的技術角色	預期效果	關鍵控制因子	典型搭配
果汁、果漿澄清	改變果膠甲基化，協助後續果膠降解或沉降	降低黏度、改善濾速、減少渾濁	pH、溫度、反應時間、原料果膠型態	PG、pectin lyase、離心或過濾
果蔬組織強化	產生可與鈣離子交聯的去甲基化區段	增加硬度、改善熱加工或冷凍後保形	鈣離子、去甲基化模式、加工順序	鈣鹽、溫和熱處理
果膠凝膠設計	調整低甲氧基果膠形成網絡的能力	改變凝膠硬度、彈性與析水表現	甲基化程度、離子強度、pH	鈣離子、糖酸配方
植物細胞壁研究	操作果膠甲基化狀態	解析軟化、裂果、成熟、細胞壁力學	組織部位、基因表達、PME 抑制因子	PMEI、細胞壁分析
含果膠生物質轉化	作為複合酵素系統中的改質步驟	提升果膠豐富殘渣的轉化效率	酵素組合、底物組成、前處理	纖維素酶、半纖維素酶、果膠酶群

在果汁加工中，PME 並非總是單獨完成澄清任務。更常見的技術邏輯是將 PME 視為果膠酶系統的一部分：PME 先使甲基酯化果膠產生更多游離羧基，PG 或其他裂解酵素再進一步切斷主鏈，讓膠體網絡崩解。針對果膠豐富生物質殘渣的研究也顯示，客製化木質纖維素分解與果膠分解酵素組合，可提高此類原料轉化效率，說明 PME 所在的果膠改質步驟常需與其他酵素協同設計 [8]。

果蔬質地：PME 不是只讓水果變軟，也可能讓組織更堅挺

一般消費者常把果膠酶與「軟化」連結，但 PME 的實際作用更複雜。果實成熟期間，PME 與 PG 等細胞壁相關酵素會共同改變果膠多醣，使細胞間黏著力下降，造成軟化；杏果實軟化研究即觀察到 polygalacturonase 與 pectin methylesterase 基因在成熟過程中的表達變化，顯示兩者共同參與細胞壁重塑 [9]。

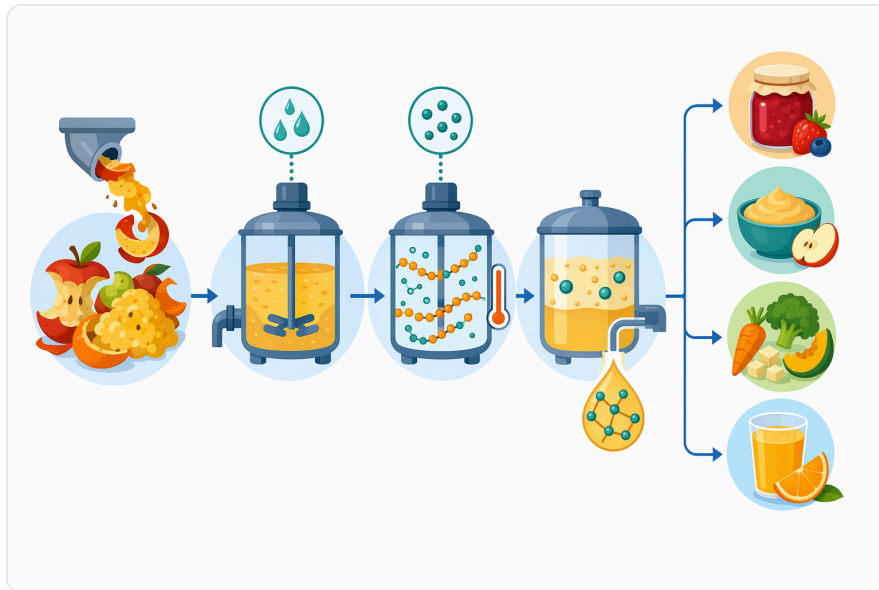


Figure 2. In juice clarification, controlled PME treatment can prepare pectin for further degradation or sedimentation before filtration or centrifugation.

然而，在加工條件下，PME 也可用於組織強化。例如當去甲基化果膠與鈣離子形成交聯，細胞間層可能更穩定，讓蔬果在加熱、浸漬、冷凍或罐裝後維持較佳形狀。高壓處理蘆筍萵苣的研究將瞬時壓力軟化與果膠相關機制連結，顯示果膠狀態、PME 活性與加工壓力共同影響植物組織在製程中的力學反應 [10]。

枸杞成熟研究也指出，果膠多醣的去甲基化與解聚是果實質地特徵變化的重要調節層次，PME 與 PME 抑制因子共同構成果膠狀態的控制網絡。這類研究雖以植物生理為主，但對果蔬加工有直接啟示：若要維持顆粒完整、改善咀嚼感或控制果泥黏稠度，必須同時考慮 PME、PMEI、PG 以及原料本身成熟度 [11]。

製程穩定性：何時需要 PME，何時需要抑制 PME

在某些製程中，外加 PME 是有意義的；在另一些產品中，目標反而是抑制或失活 PME。以混濁型果汁為例，過度 PME 活性可能使雲霧顆粒失去穩定，導致沉澱或分層；以需要清澈外觀的果汁為例，受控的 PME 反應加上後續澄清，則可能改善過濾效率。草莓汁常溫高壓儲存研究即將 PME 活性與血清黏度變化連結，凸顯儲存條件下 PME 對液態產品口感與外觀的影響 [12]。

熱處理仍是控制內源性 PME 的常見方式之一，但不同來源與不同基質中的 PME 熱穩定性差異顯著。鳳梨汁熱失活研究、鳳梨泥高壓與溫度聯合處理建模，以及鳳梨泥高壓 / 熱處理後品質變化研究，都顯示 PME 反應與失活行為需要放在產品基質中理解，而不能只用單一溫度概念推論 [13]。

非熱或低熱處理也被廣泛研究。高壓二氧化碳可用於多酚氧化酶與 PME 失活，並被評估於液態與固態天然產品；高壓與溫度組合也被用於建立鳳梨泥中 PME 失活動力模型。這些研究的重點不是鼓勵所有產品都採用相同製程，而是說明 PME 對加工穩定性足夠重要，值得在配方與製程設計階段納入考量 [14]。

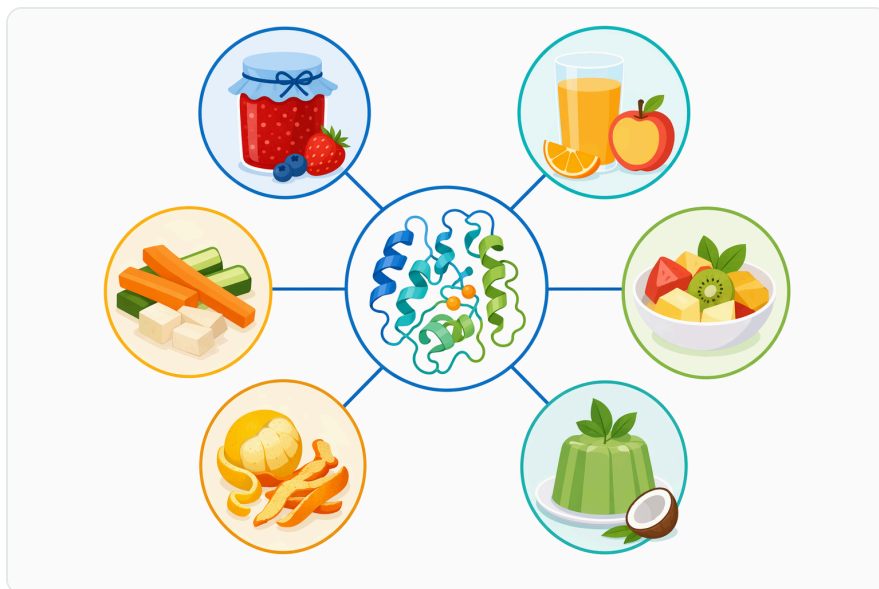


Figure 3. PME applications span juice clarification, fruit and vegetable texture control, pectin gel design, cell-wall research, and pectin-rich biomass conversion.

來源差異：植物、真菌與細菌 PME 的應用含義

PME 可來自植物、真菌與細菌，不同來源的催化行為、酸鹼適應性、熱穩定性與去甲基化模式可能不同。番茄等植物來源 PME 常與原料本身的成熟、軟化與加工失活研究相關；真菌來源如 *Aspergillus niger* 則常出現在食品加工與酵素表達研究中；細菌來源 PME 則可提供不同 pH 條件與反應特性的比較基礎 [15]。

Paenibacillus xylanexedens 的酸性 PME 被研究並應用於果實加工，顯示較酸性條件下的 PME 對水果基質具有潛在實用性。多數果汁與果泥本身偏酸，因此酸性 PME 的研究特別受到食品科學關注；但實際效果仍取決於果膠來源、甲基化程度、可溶性固形物、離子條件與共存酵素 [3]。

另一方面，*Paenibacillus amylolyticus* 27C64 的 homogalacturonan 解構系統研究指出，該系統不需要胞外 PME 也能進行特定果膠解構，並被認為具有工業潛力。這提醒我們：PME 雖是果膠改質的重要工具，但並非所有果膠降解或生物質轉化系統都必須以 PME 為起點；不同微生物酵素系統可能採取不同路徑 [16]。

PME 抑制因子與加工控制

植物中存在 pectin methylesterase inhibitor (PMEI)，可與特定 PME 形成複合體並限制其活性。PMEI 超家族研究顯示，這些蛋白在植物生長、細胞壁調節與抗逆反應中具有廣泛角色；對食品加工而言，PMEI 的存在解釋了同樣是果蔬原料，PME 表現卻可能因品種、成熟度與組織部位而不同 [2]。

奇異果 PMEI 與植物 PME 在熱處理及高壓處理中的交互作用已有研究，顯示加工條件會影響 PME–PMEI 複合體的穩定性與調控效果。這對設計果汁或果泥製程很重要：若原料含有內源性抑制因子，單看 PME 含量不足以預測反應，還需要理解抑制因子是否在加工過程中保留作用 [17]。

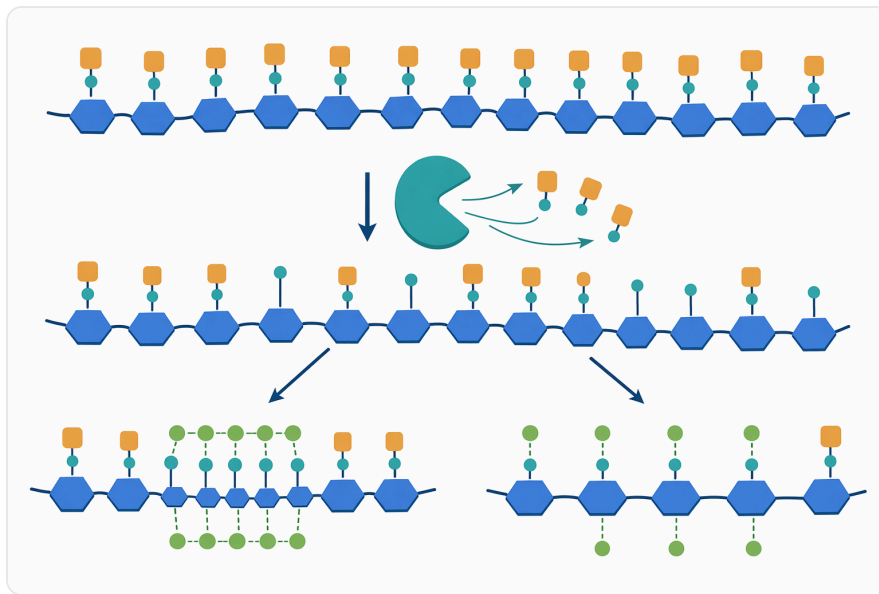


Figure 4. PME can support tissue firmness through calcium crosslinking or contribute to softening when paired with pectin-degrading enzymes.

胡蘿蔔 PME 與奇異果抑制因子的複合形成也曾透過分離分析方式研究，並評估熱與高壓處理的影響。這類文獻有助於說明 PME 控制並非只有「加熱失活」一種路徑，蛋白質交互作用本身也會決定果膠甲基化變化的速度與程度 [18]。

與其他果膠酶的協同：PME 在酵素雞尾酒中的位置

在果汁澄清或含果膠生物質轉化中，PME 常與其他酵素一起出現。PG 偏向水解去甲基化後的 polygalacturonic acid 主鏈，pectin lyase 則可作用於較高甲基化的果膠區段，pectate lyase 對去甲基化果膠更具關聯。PME 透過改變底物甲基化狀態，會改變這些酵素的可用作用位置與效率 [8]。

因此，PME 的應用結果高度依賴「先後順序」與「反應環境」。若目標是澄清，PME 產生的去甲基化區段可能讓 PG 更易進一步降解果膠，降低黏度；若目標是保形，則可能希望限制降解酵素作用，讓去甲基化果膠與鈣離子交聯。這也是為什麼相同 pectin methylesterase 在不同配方中可能帶來完

全不同的口感結果 [5]。

含果膠農產殘渣，如柑橘皮、果渣與部分蔬果加工副產物，通常同時含有果膠、纖維素、半纖維素與少量木質素。酵素組合研究指出，針對果膠豐富生物質殘渣的轉化，必須客製化木質纖維素分解與果膠分解酵素比例，PME 在其中可能扮演果膠預改質或協同解構角色 [8]。

品質風險與限制：避免把 PME 視為萬用添加物

PME 的效能受基質強烈影響。不同水果與蔬菜的果膠分子量、甲基化程度、乙醯化程度、鈣含量、酸度與可溶性固形物均不同，這些因素會改變去甲基化後的凝膠或降解路徑。番茄 PME 與過氧化酶的動力學、熱與 pH 失活研究也顯示，特定原料中的 PME 行為需要以該基質條件理解 [19]。

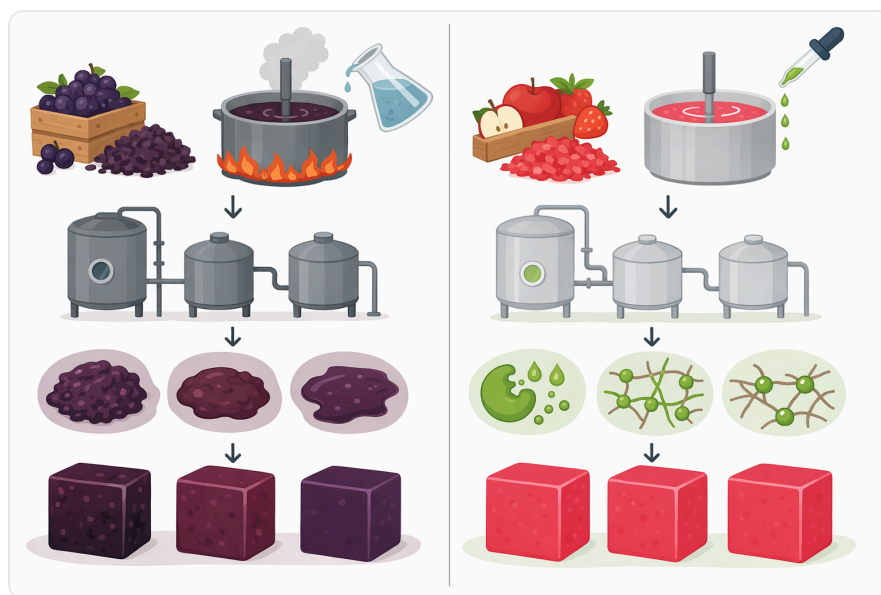


Figure 5. Plant, fungal, and bacterial PMEs can differ in pH behavior, heat stability, de-methylation pattern, and practical fit for fruit-processing conditions.

另一個必須注意的副產物是甲醇。PME 水解果膠甲基酯時會釋放甲醇，這是反應機制的一部分；在食品與飲料應用中，最終產品是否符合當地安全與法規要求，取決於原料果膠含量、處理程度、後續加工與成品類型。本文不提供法規判定或含量保證，但在高果膠配方中，甲醇生成是製程評估時不可忽略的化學結果 [1]。

PME 也可能造成非預期的沉澱、凝膠化或黏度變化。若配方中鈣離子較高，PME 反應可能使產品過度增稠或形成顆粒；若同時有內源性 PG，則可能加速軟化與析水。工業果製品中殘餘 PME 活性的觀察提醒我們，即使產品已經過穩定化處理，後續儲存仍可能發生果膠相關品質變化 [6]。

Enzymes.bio 供應形式與文件說明

Enzymes.bio 是酵素供應商，不是製造商，也不是實驗室。本頁聚焦於 pectin methylesterase 的科學機制、應用邏輯與文獻支持，避免將產品描述成製造端規格或實驗室服務。產品以 **1 kg 單位** 在線上直接銷售，適合需要將 PME 納入自有配方、製程開發或內部應用評估的 B2B 使用者。

CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供。CoA 可作為該批次產品隨貨文件，SDS 則提供安全處理、儲存與職業安全相關資訊。使用者在食品、飼料、化妝品、研究或其他應用中導入 PME 時，仍需依自身產品用途與所在地法規確認合規性；本文件不替代法規審查，也不宣稱特定最終產品效果。

應用導入時的技術判斷重點

對果汁與飲品應用而言，PME 的導入重點是判斷目標為「澄清」或「穩定混濁」。若產品需要清澈外觀，PME 可與其他果膠酶共同促進果膠網絡解構；若產品需要維持天然雲霧，則應特別注意內源性或外加 PME 是否造成沉澱與血清分離。柑橘類 Mosambi juice 的 PME 失活研究即反映了果汁加工中控制 PME 的重要性 [20]。

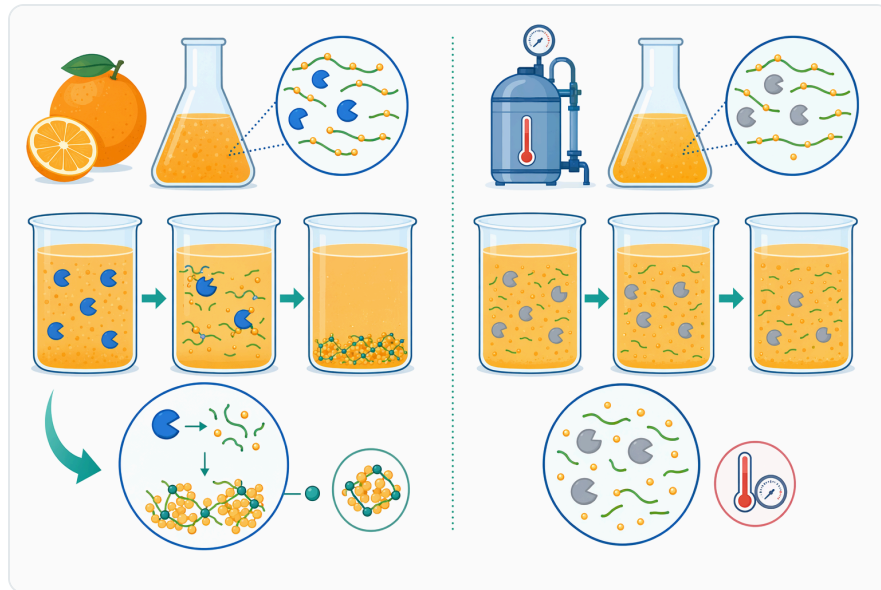


Figure 6. PME use can produce methanol and may cause unintended sedimentation, gelation, viscosity shifts, or syneresis depending on the matrix.

對果蔬固形產品而言，PME 的重點是與鈣離子及熱 / 壓力條件的配合。適度去甲基化可提高細胞壁果膠間的鈣橋連結，但過度去甲基化或與降解酵素共同作用則可能導致軟化。高壓與熱處理後鳳梨泥品質變化研究顯示，PME 活性控制與產品黏度、質地、儲存品質具有連動關係 [21]。

對果膠材料與低甲氧基果膠設計而言，PME 提供的是「調整甲基化分布」的工具，而不只是降低總甲基化程度。若去甲基化呈較連續區段，鈣交聯傾向更明顯；若去甲基化較分散，凝膠網絡與流變結果可能不同。馬鈴薯 PME 的大規模單步部分純化研究將其連結至主要食品應用，也說明不同植物來源 PME 在質地工程上具有實際價值 [22]。

結論：PME 的價值在於精準改變果膠，而非單純分解果膠

Pectin methylesterase 是果膠加工中最具結構調控意義的酵素之一。它透過去甲基酯化改變果膠電荷與鈣離子交聯能力，使同一類反應可依條件導向澄清、降黏、凝膠化、保形或細胞壁力學調整。食品科學、果蔬加工與植物生理文獻均支持 PME 在果膠結構控制中的核心地位 [1]。

對 B2B 使用者而言，PME 的應用成敗通常取決於基質果膠特性、pH、溫度、鈣離子、共存酵素與加工順序。Enzymes.bio 供應 pectin methylesterase 產品並以 1 kg 單位線上銷售；CoA 與 SDS 會隨訂單提供，協助使用者在自身配方與製程條件下進行合規、安全與應用評估。

線上訂購 Pectin Methylesterase

以 1 kg 單位販售，現貨供應，可立即出貨。請直接於我們的線上商店下單並付款，我們將為您處理訂單。每筆訂單皆附分析證明書與安全資料表。

[購買 Pectin Methylesterase →](#)

參考文獻

依首次引用順序編號。所有來源皆為開放取用資料，並於發布時確認可連線；正文中的引用編號會連結至此。

1. Wang, Y., Zhang, D., Huang, L., Zhang, Z., Gao, J., Liu, W., He, G., ... et al. (2022). Research progress of pectin methylesterase and its inhibitors. *Current protein and peptide science*.
2. Coculo, D., & Lionetti, V. (2022). The Plant Invertase/Pectin Methylesterase Inhibitor Superfamily. *Frontiers in Plant Science*, 13.
3. Zhong, L., Wang, X., Fan, L., Ye, X., Li, Z., Cui, Z., & Huang, Y. (2020). Characterization of an acidic pectin methylesterase from Paenibacillus xylanexedens and its application in fruit processing. *Protein Expression and Purification*, 105798.
4. Vovk, I., Simonovska, B., & Benčina, M. (2005). Separation of pectin methylesterase isoenzymes from tomato fruits using short monolithic columns. *Journal of Chromatography A*, 1065 1, 121-8.
5. Zhang, Z., Dong, J., Zhang, D., Wang, J., Qin, X., Liu, B., Xu, X., ... et al. (2018). Expression and characterization of a pectin methylesterase from Aspergillus niger ZJ5 and its application in fruit

- processing. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 126 6, 690-696 .
6. Castaldo, D., Laratta, B., Loiudice, R., Giovane, A., Quagliuolo, L., & Servillo, L. (1997). Presence of Residual Pectin Methylsterase Activity in Thermally Stabilized Industrial Fruit Preparations. *Lwt - Food Science and Technology*, 30, 479-484.
 7. Samaranyake, C., & Sastry, S. (2016). Effects of controlled-frequency moderate electric fields on pectin methylsterase and polygalacturonase activities in tomato homogenate. *Food Chemistry*, 199, 265-72 .
 8. Gao, L., Liu, G., Zhao, Q., Xiao, Z., Sun, W., Hao, X., Xin-Liu, ... et al. (2022). Customized optimization of lignocellulolytic enzyme cocktails for efficient conversion of pectin-rich biomass residues. *Carbohydrate Polymers*, 297, 120025 .
 9. Hou, Y., Wu, F., Zhao, Y., Shi, L., & Zhu, X. (2019). Cloning and expression analysis of polygalacturonase and pectin methylsterase genes during softening in apricot (Prunus armeniaca L.) fruit. *Scientia Horticulturae*.
 10. Sun, Y., Yao, J., Zhang, L., Chen, F., Hu, X., & Zhang, Y. (2019). New evidence on pectin-related instantaneous pressure softening mechanism of asparagus lettuce under high pressure processing. *Food science and technology international = Ciencia y tecnologia de los alimentos internacional*, 25, 337 - 346.
 11. Ma, J., Sun, X., Hui, H., Zhang, Y., Meng, X., Fan, Y., & Liu, D. (2026). Demethylation and depolymerization of pectin polysaccharides during ripening of Goji berry: pectin methylsterase and Pectin methylsterase inhibitors as the main regulators of fruit texture characteristics. *Plant Science*, 113105 .
 12. Bermejo-Prada, A., Segovia-Bravo, K. A., Guignon, B., & Otero, L. (2015). Effect of hyperbaric storage at room temperature on pectin methylsterase activity and serum viscosity of strawberry juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 30, 170-176.
 13. Cautela, D., Castaldo, D., & Laratta, B. (2018). Thermal inactivation of pectin methylsterase in pineapple juice. *Journal of Food Measurement & Characterization*, 12, 2795-2800.
 14. Benito-Román, Ó., Sanz, M., Illera, A. E., Melgosa, R., & Beltrán, S. (2020). Polyphenol oxidase (PPO) and pectin methylsterase (PME) inactivation by high pressure carbon dioxide (HPCD) and its applicability to liquid and solid natural products. *Catalysis Today*.
 15. Pili, J., Vargas, C. E. B., Oro, C. E., Backes, G. T., Valduga, E., & Zeni, J. (2018). Synthesis of Pectin Methylsterase from Aspergillus niger in Submerged Fermentation Using as Citrus Pectin and Orange Peel as Inducers. *Industrial Biotechnology*, 14, 212 - 221.
 16. Keggi, C., & Doran-Peterson, J. (2020). The Homogalacturonan Deconstruction System of Paenibacillus amylolyticus 27C64 Requires No Extracellular Pectin Methylsterase and Has Significant Industrial Potential. *Applied and Environmental Microbiology*, 86.
 17. Mei, X., Shpigelman, A., Verrijssen, T. A., Kyomugasho, C., Luo, Y., Loey, A., Michiels, C., ... et al. (2015). Recombinant kiwi pectin methylsterase inhibitor: Purification and characterization of the interaction with plant pectin methylsterase during thermal and high-pressure processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29, 295-301.

18. Jolie, R. P., Duvetter, T., Verlinde, P., Buggenhout, S. V., Loey, A. V. V., & Hendrickx, M. (2009). Size exclusion chromatography to gain insight into the complex formation of carrot pectin methylesterase and its inhibitor from kiwi fruit as influenced by thermal and high-pressure processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57 23, 11218-25 .
19. 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*.
20. Siwach, R. (2012). Pectin Methylesterase Inactivation in Mosambi Juice. *Journal of Life Sciences*, 4, 81 - 85.
21. Chakraborty, S., Rao, P. S., & Mishra, H. (2016). Changes in Quality Attributes During Storage of High-Pressure and Thermally Processed Pineapple Puree. *Food and Bioprocess Technology*, 9, 768-791.
22. Spelbrink, R., & Giuseppin, M. (2014). Large-Scale Single Step Partial Purification of Potato Pectin Methylesterase that Enables the Use in Major Food Applications. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 174, 1998 - 2006.


聯絡 Enzymes.bio

對訂單有疑問嗎？我們的團隊很樂意協助。


電子郵件 wholesale@enzymes.bio

電話 (美國) **+1 (507) 428-6057**

[聯絡我們 →](#)

 **400+** B2B 客戶

 **60+** 大學研究合作夥伴

 **54** 服務遍及全球

© 2026 Enzymes.bio · 工業與食品加工用酵素供應 · 非供人體食用或零售銷售。