

Pectate Lyase (果膠酸裂解酶)：果汁澄清、紡織生物精練與植物纖維脫膠用酵素

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

Pectate Lyase (果膠酸裂解酶，常縮寫為 PEL) 是一類以 β -消除反應裂解非甲酯化果膠主鏈的多醣裂解酶，主要作用於 polygalacturonic acid / pectate，而非高度甲酯化果膠。它在果汁澄清、棉織物 bioscouring、苧麻 ramie degumming、植物原料預處理與部分廢水黏度控制中具有實務價值，核心優勢是選擇性降低果膠造成的黏度、渾濁與纖維膠質負荷 [1]。Enzymes.bio 以線上供應商身分提供 1 kg 單位的 Pectate Lyase 產品；CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，用於客戶內部品質、安全與合規文件留存。

Pectate Lyase 是什麼：專門處理「果膠酸」骨架的裂解酶

Pectate Lyase 屬於 polysaccharide lyase (多醣裂解酶) 系統，催化果膠中 homogalacturonan 區段的 α -1,4 連結 D-半乳糖醛酸鏈。與多聚半乳糖醛酸酶等水解型 pectinase 不同，Pectate Lyase 不是以加水方式切斷糖苷鍵，而是透過 β -消除反應形成帶有 4,5-不飽和半乳糖醛酸末端的寡聚產物；這也是其在低水耗、低化學助劑與選擇性果膠去除流程中受到關注的原因 [1]。

在基質偏好上，典型 Pectate Lyase 對「去甲酯化」或低甲酯化的果膠區段較有效，也就是常稱的 pectate 或 polygalacturonic acid。相對地，若原料含有高度甲酯化 pectin，單獨使用 Pectate Lyase 的效率可能受限，實務流程常需考量原料成熟度、果膠甲酯化程度、前處理條件，或與其他果膠相關酵素形成互補反應 [1]。

Pectate Lyase 廣泛存在於細菌、真菌與植物相關微生物中，並依序列與結構分屬不同 PL 家族，例如 PL1、PL3、PL9 等；不同來源的酵素在 pH 適應性、溫度穩定性、鈣離子依賴性與底物結合方式上可能差異明顯。近年的研究不只描述天然酵素，也透過重組表現、結構導向設計與突變改造來調整耐熱性、耐鹼性或催化效率，使其更貼近紡織、果汁與植物纖維處理流程 [2]。

作用機制： β -消除反應如何降低黏度與破壞膠質網絡

Pectate Lyase 的核心反應是裂解 homogalacturonan 主鏈，使長鏈果膠轉變為較短的不飽和寡聚半乳糖醛酸。果膠長鏈在水果細胞壁、棉纖維表面雜質與麻類膠質中容易形成高黏度網絡；當主鏈被切短後，溶液黏度下降，懸浮膠體穩定性降低，纖維間膠黏物也較易鬆動，因此可促進澄清、過濾、洗

除或後續化學處理效率 [1]。

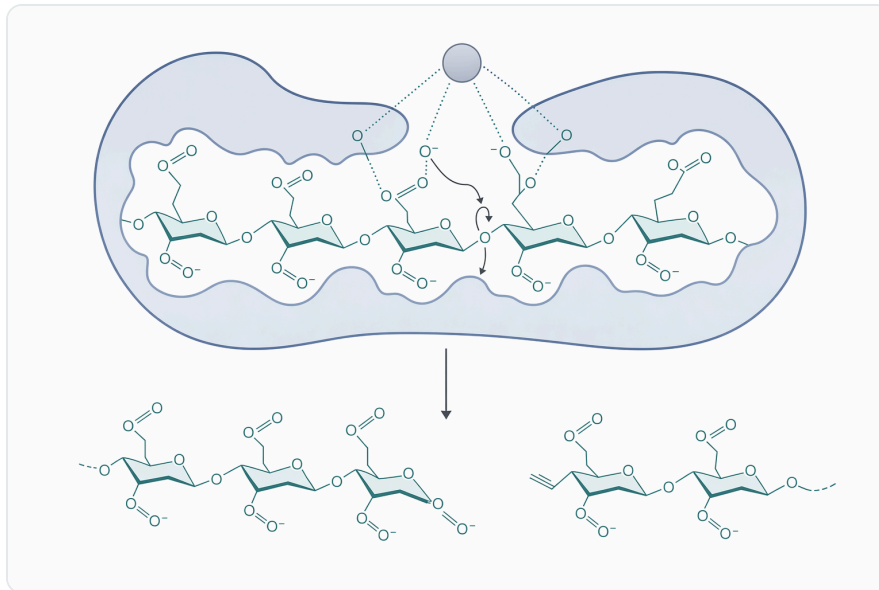


Figure 1. 果膠酸裂解酶在鈣離子輔助下透過 β -消除作用切割聚半乳糖醛酸，生成不飽和果膠寡醣。

許多 Pectate Lyase 具有右手平行 β -螺旋或相近的結構特徵，蛋白表面的長形凹槽可容納連續半乳糖醛酸殘基，使酵素能沿著聚合物鏈進行定位與切割。以 *Aspergillus nidulans* AnPL9 等研究為例，結構與生化分析指出，底物結合區域、催化殘基與局部環狀結構會共同影響 pH 特性、基質專一性與反應效率 [3]。

部分 Pectate Lyase 需要或受益於二價金屬離子，尤其鈣離子常被視為與底物羧酸基團配位、穩定反應中間狀態或維持酵素構形相關的因素。不過，不同來源酵素對金屬離子的依賴程度並不一致，因此在含螯合劑、表面活性劑、鹽類或高硬度水的工業流程中，實際表現會受到配方環境影響 [1]。

與其他果膠酵素的差異

Pectate Lyase 常被歸在 pectinase 或果膠酵素大類下，但其反應機制與最適基質並不同於 pectin lyase、polygalacturonase 或 pectin methylesterase。釐清差異有助於選擇正確的生物處理策略，尤其是在果汁澄清、植物纖維脫膠與纖維表面果膠去除時，錯把所有 pectinase 視為同一功能，容易造成流程效果不穩定 [1]。

酵素類型	主要作用基質	主要反應方式	實務意義
Pectate Lyase	低甲酯化果膠、pectate、polygalacturonic acid	β -消除裂解	適合處理非甲酯化果膠造成的黏度、膠質與纖維雜質

酵素類型	主要作用基質	主要反應方式	實務意義
Pectin Lyase	較高甲酯化 pectin	β -消除裂解	常見於水果加工中對甲酯化果膠的降解需求
Polygalacturonase	polygalacturonic acid 或果膠酸區段	水解反應	以加水方式切斷糖苷鍵，產物與反應條件不同
Pectin Methylsterase	甲酯化果膠	去甲酯化	可增加 pectate 區段，常與其他果膠降解酵素形成互補

Pectin Lyase 與 Pectate Lyase 都可進行 β -消除，但前者通常更偏向甲酯化 pectin，後者則偏向 pectate。RCSB PDB 中已有 pectin lyase A 等結構資料，可作為理解果膠裂解酵素結構摺疊與底物辨識的參考；但在實際選用時，仍須依目標底物的甲酯化狀態與流程條件判斷 [4]。

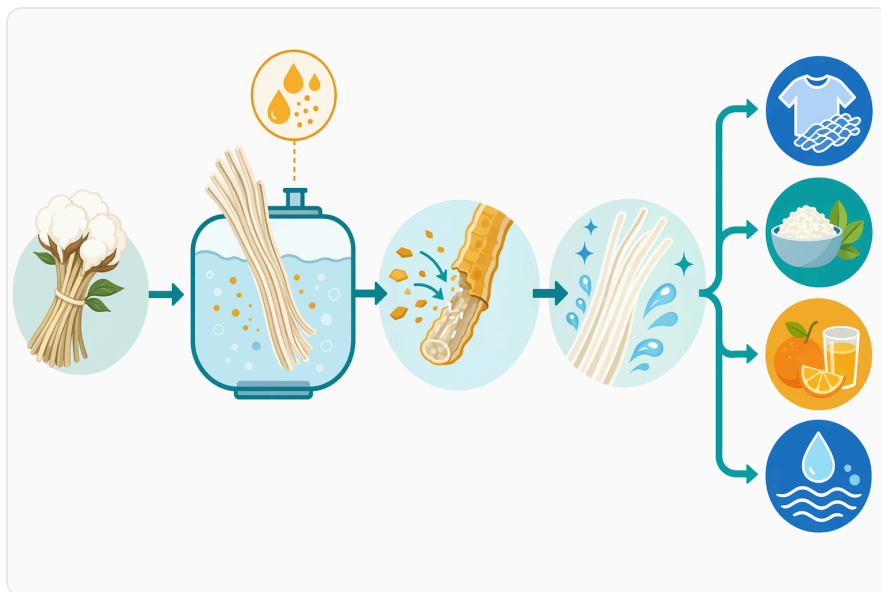


Figure 2. 工業用果膠酸裂解酶可在溫和鹼性加工條件下去除植物材料中的果膠物質。

主要應用一：果汁澄清與飲料加工

水果與蔬菜原汁中的果膠會提高黏度、維持懸浮顆粒穩定，並降低過濾與離心效率。Pectate Lyase 可將 pectate 區段切成較短寡聚物，破壞果膠網絡對水分與懸浮顆粒的束縛，使沉降、澄清與固液分離更容易進行；這也是果膠酵素在果汁處理中長期被研究與應用的基礎 [1]。

近年也有針對低溫活性 Pectate Lyase 的研究，目標是降低果汁澄清時的熱負荷並保留較敏感的香氣或品質特徵。來自海洋細菌的低溫活性 Pectate Lyase 被評估於柳橙汁澄清，顯示研究方向已從單純「能降解果膠」延伸至「在較溫和溫度下仍能發揮作用」的流程節能與品質維持需求 [5]。

在飲料加工中，Pectate Lyase 並不一定單獨使用；若原料含有澱粉、纖維素、半纖維素或不同甲酯化程度的果膠，常見策略是以多種酵素分工處理不同膠體來源。不過，Pectate Lyase 的定位仍相當明確：它主要對非甲酯化果膠骨架產生斷鏈效果，因此對降低由果膠酸區段造成的黏度與濁度特別重要 [1]。

主要應用二：棉織物 bioscouring 與纖維表面果膠去除

棉纖維雖以纖維素為主，但天然棉蠟、果膠、蛋白質與其他非纖維素雜質會影響吸水性、染整均勻性與後續加工。傳統精練常使用強鹼條件去除雜質，但可能增加能耗、廢水鹼負荷與纖維損傷；Pectate Lyase 在 bioscouring 中的作用，是選擇性降解纖維表面果膠，使雜質層鬆動並改善濕潤性 [6]。

有研究將鹼性 Pectate Lyase 高量外泌表現在 E. coli BL21(DE3)，並應用於棉織物 bioscouring，說明此類酵素在較接近紡織處理條件的環境中具有應用潛力。這類研究重點並非僅追求單一酵素活性，而是讓酵素能在纖維、鹼性環境、助劑與機械作用共同存在時維持足夠功能 [6]。

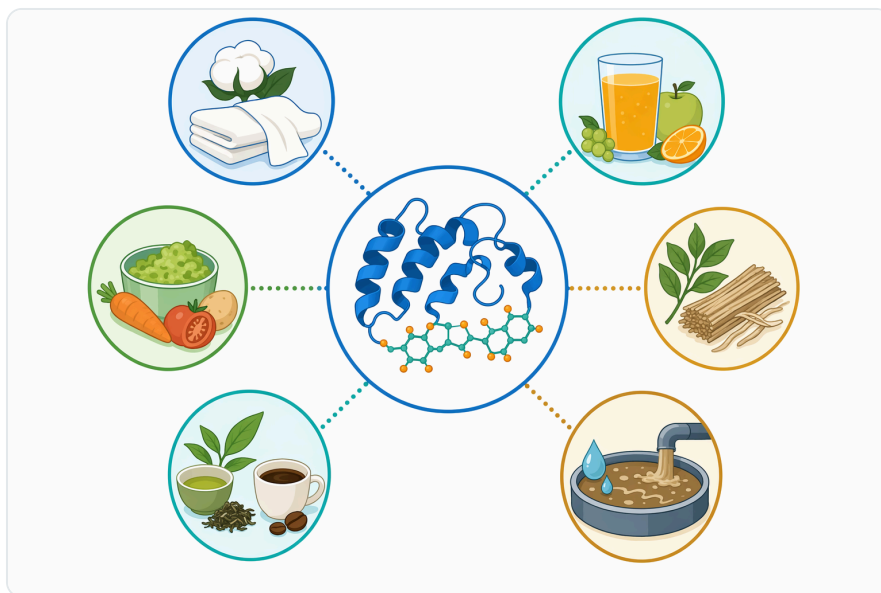


Figure 3. 果膠酸裂解酶可用於紡織品生物精練、食品加工、植物纖維處理，以及富含果膠廢水的管理。

紡織流程的變因相當多，例如浴比、pH、溫度、時間、機械作用與助劑交互影響。針對棉 bioscouring 的因子設計研究指出，製程參數之間的交互作用會影響 Pectate Lyase 表現，因此實務上更需要把酵素視為流程系統的一部分，而不是孤立的添加物 [7]。

主要應用三：苧麻 ramie degumming 與植物纖維脫膠

苧麻、亞麻等韌皮纖維含有較多果膠、半纖維素與木質素相關膠質，這些非纖維素成分使纖維束緊密黏結。Pectate Lyase 在 ramie degumming 中可針對果膠膠質進行選擇性斷鏈，降低纖維束間的黏附力，使後續洗除與分纖更容易，並有機會減少強鹼處理對纖維品質的負面影響 [8]。

2025 年有研究針對 *Paenibacillus tarimensis* 來源的新型 Pectate Lyase 進行表徵、改造與苧麻脫膠初步應用，顯示此領域仍持續朝向更適合工業條件的酵素發展。對植物纖維而言，理想的 Pectate Lyase 不只是能分解果膠，還需在實際纖維漿料、高固形物與可能偏鹼的操作條件中保持穩定 [8]。

來自 *Caldicellulosiruptor bescii* 的 thermo-alkaline Pectate Lyase 也被研究用於永續布料 bioscouring，凸顯耐熱與耐鹼特性在紡織流程中的重要性。這類酵素可協助降低傳統強化學處理的依賴，但實際效果仍需與纖維種類、雜質組成及既有設備條件配合評估 [9]。



Figure 4. 與傳統鹼煮精練相比，果膠酸裂解酶生物精練可降低化學處理強度，同時保持纖維品質。

主要應用四：植物原料、紙漿與含果膠廢物流的預處理

在部分農產加工副產物、植物纖維漿料與含果膠廢物流中，果膠會提高黏度、造成固液分離困難，或影響後續微生物處理與脫水效率。Pectate Lyase 可透過主鏈斷裂降低膠體黏結能力，改善流動性與可處理性，因此常被討論作為植物性原料預處理或廢水前段處理的生物工具 [1]。

不過，紙漿與廢水場景的證據通常比果汁與紡織更依賴個案條件。原料中果膠比例、懸浮固體、金屬離子、pH 緩衝能力、表面活性劑與其他有機物都可能影響結果；因此，Pectate Lyase 在此類應用中的價值較適合被視為「降低果膠相關黏性與膠體問題的選項」，而非對所有廢物流皆通用的單一解法。

[10]。

pH、溫度與穩定性：為什麼不同來源差異很大

Pectate Lyase 的工業價值很大程度取決於它能否配合既有流程 pH 與溫度。許多 *Bacillus*、*Paenibacillus* 與其他微生物來源的 Pectate Lyase 被描述為偏鹼性或具鹼穩定性，因此特別受到紡織 bioscouring、植物纖維脫膠與部分鹼性預處理流程關注 [11]。

來自 *Bacillus amyloliquefaciens* S6 的 Pectate Lyase 被研究指出具有 pH 與溫度穩定性，研究者也將其與工業應用潛力連結。這類結果說明，對 B2B 使用者而言，Pectate Lyase 的關鍵不是抽象的「高活性」，而是是否能在特定流程環境中保持足夠反應能力與操作穩定 [11]。

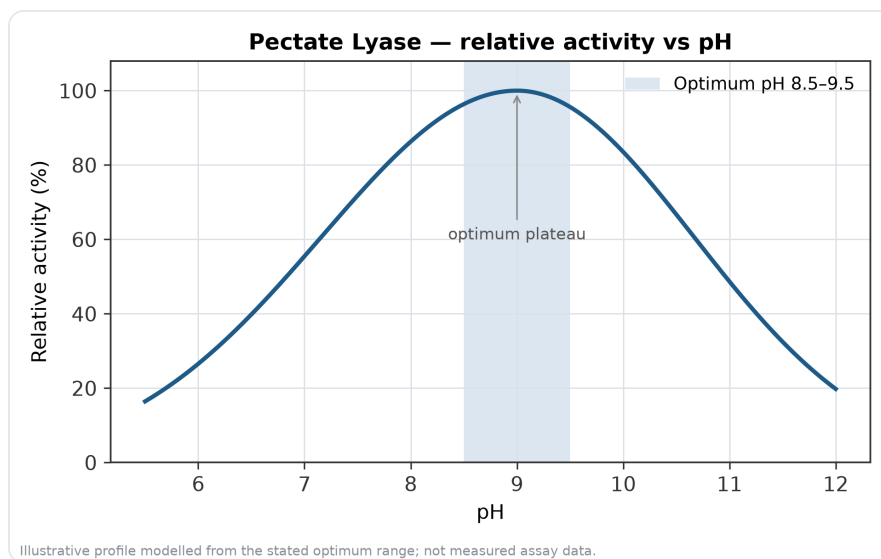


Figure 5. 果膠酸裂解酶相對活性隨 pH 變化的關係，顯示其最佳活性平台位於 pH 8.5–9.5。

耐熱性也是重要方向。*Paenibacillus* sp. 0602 來源鹼性 Pectate Lyase 的結構導向理性設計研究，目的在於改善熱穩定性，反映出工業流程常需要酵素承受較高溫、較長停留時間或與其他處理步驟銜接的壓力 [2]。

酵素工程：從天然酵素到更適合流程的變體

Pectate Lyase 的工程化研究主要集中在提高熱穩定性、調整最適 pH、改善底物結合或提升特定應用中的表現。2023 年的 loop replacement 研究以 *Bacillus* RN.1 來源 Pectate Lyase 為對象，嘗試改善最適 pH 與催化表現，顯示蛋白表面迴圈區域並非只是結構連接件，也可能直接影響底物進入、催化微環境與 pH 反應輪廓 [12]。

鹼性 *Bacillus Pectate Lyase* 的篩選研究則從「反應性」與「pH 依賴穩定性」角度，在模擬工業環境中比較候選酵素。這種研究方式比單一緩衝液中的最佳表現更接近實際應用，因為工業流程通常存在 pH 波動、離子強度變化與多成分配方 [13]。

真菌來源也提供不同特性。例如 *Aspergillus luchuensis* var. *saitoi* 的耐熱 Pectate Lyase 被鑑定與表徵，說明 Pectate Lyase 並不限於細菌來源；不同微生物生態位可能提供更適合酸性、耐熱或其他特殊條件的酵素候選 [14]。

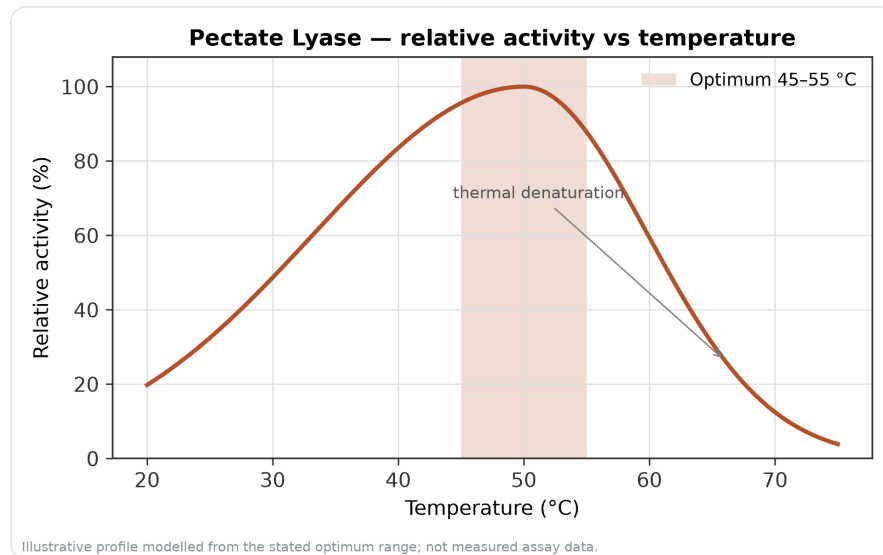


Figure 6. 果膠酸裂解酶相對活性隨溫度變化的關係，最佳溫度為 45–55 °C，且在超過最佳溫度後呈現典型的熱變性下降。

使用時的技術考量：基質、添加物與流程整合

Pectate Lyase 的效果首先取決於目標原料是否真的含有可被其利用的 pectate 區段。若原料中果膠高度甲酯化、被其他多醣或蛋白質包埋，或因熱處理產生結構改變，單獨添加 Pectate Lyase 的效果可能低於預期；相反地，若目標問題主要來自非甲酯化果膠造成的黏度、膠質或纖維黏結，Pectate Lyase 的機制就更直接 [1]。

第二個考量是配方環境。鈣離子、螯合劑、界面活性劑、鹽濃度、氧化性化學品與 pH 緩衝能力，都可能改變酵素構形、底物電荷狀態或酵素與基質的接觸效率。這也是為什麼文獻常把 Pectate Lyase 的穩定性與應用表現放在一起討論，而不是只看單一生化參數 [15]。

第三個考量是與其他酵素的互補性。在果汁或植物纖維處理中，pectin methylesterase、polygalacturonase、cellulase、hemicellulase 或 xylanase 可能分別處理不同結構；Pectate Lyase 的角色是裂解 pectate 主鏈，而不是全面分解所有植物細胞壁成分。清楚界定其任務，可避免過度添加或錯配酵素系統 [1]。

證據成熟度：哪些應用較明確，哪些仍需情境化

就基礎科學而言，Pectate Lyase 的反應機制、底物偏好、PL 家族分類與結構特徵已有相當多文獻支持。多篇綜述與結構研究整合了來源、分類、性質、結構與催化機制，讓 Pectate Lyase 成為果膠裂解酵素中相對清楚的一類 [1]。

在應用面，果汁澄清、棉 bioscouring 與苧麻脫膠的證據較具體，因為這些流程的問題核心常與果膠造成的黏度、膠質或纖維表面雜質相關。相較之下，紙漿、複合廢水或特殊植物副產物預處理的結果更容易受原料差異影響，需以特定流程與物料條件判斷其效益 [10]。

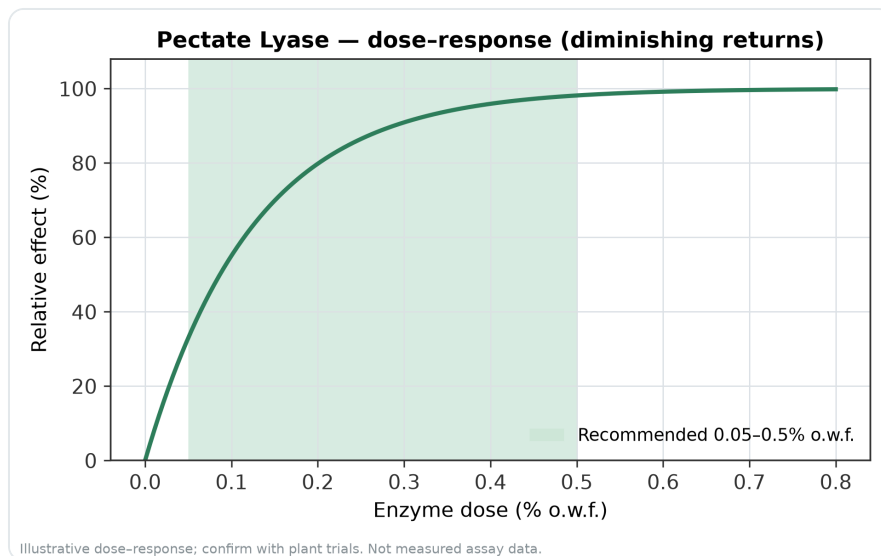


Figure 7. 果膠酸裂解酶在建議使用範圍 (0.05–0.5% o.w.f.) 內的示意劑量反應關係。

在研發面，Pectate Lyase 也被用於製備不飽和寡聚半乳糖醛酸，這些寡聚物在植物免疫訊號、功能性材料或生物活性研究中受到關注。不過，若涉及食品、保健、農業刺激物或功能宣稱，仍需依目標市場的法規與品質要求處理，不能僅以酵素反應可行性推論商業宣稱可行 [1]。

Enzymes.bio 供應資訊與文件提供方式

Enzymes.bio 是線上酵素供應商，提供 Pectate Lyase 產品以 1 kg 單位直接購買；Enzymes.bio 不是製造商，也不是實驗室，因此本文件定位為教育性與應用導向技術說明，而非製造端規格書或分析報告。

隨訂單提供的 CoA 與 SDS 可用於客戶內部品質文件、安全作業、倉儲與合規流程留存。對於食品加工、紡織、植物纖維或其他工業用途，使用者仍應依自身產品別、地區法規、工廠作業規範與最終用途進行內部評估。

安全與合規重點

Pectate Lyase 本質上是蛋白質酵素，工業操作時應避免吸入粉塵、長時間皮膚接觸或不必要的氣膠暴露，並依 SDS 內容進行個人防護、儲存與意外處置。酵素產品即使具有生物催化特性，也不代表可忽略職業暴露風險，特別是在粉體投料、分裝或高速攪拌環境。

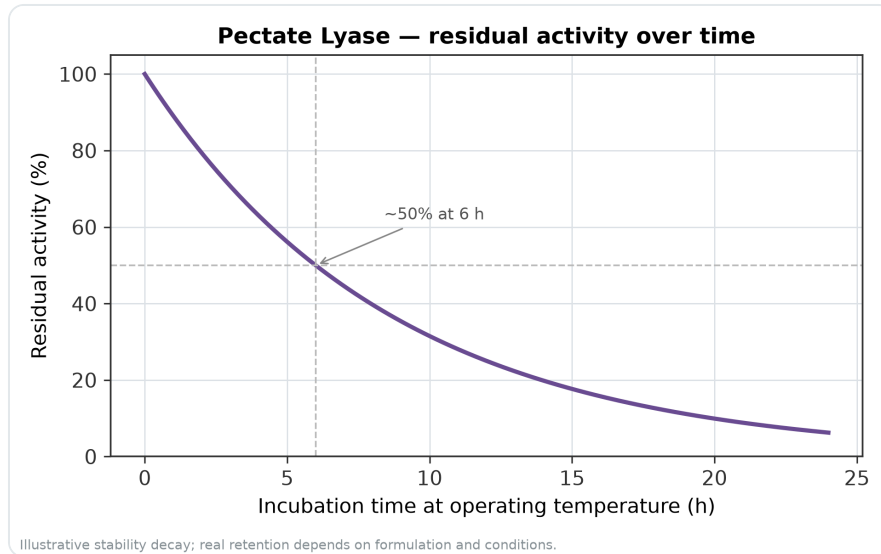


Figure 8. 果膠酸裂解酶的示意熱穩定性衰減——在操作溫度下，殘餘活性隨時間下降。

若 Pectate Lyase 用於食品或飲料加工，還需依所在地對加工助劑、殘留、標示與製程紀錄的要求處理；若用於紡織或廢水處理，則重點通常轉向作業安全、排放條件與後續處理相容性。文獻可支持其機制與應用潛力，但法規合規仍須以市場與用途為準 [10]。

結論：Pectate Lyase 的價值在於精準降低果膠問題

Pectate Lyase 是一類機制清楚、應用成熟度逐步提高的果膠酸裂解酶，最適合處理由低甲酯化果膠或 pectate 造成的黏度、膠質、渾濁與植物纖維黏結問題。它在果汁澄清、棉織物 bioscouring、苧麻脫膠與植物性原料預處理中具備明確的技術邏輯，而耐鹼、耐熱與低溫活性等研究方向，則讓 Pectate Lyase 更能對應不同工業流程條件 [1]。

對企業使用者而言，Pectate Lyase 不應被視為泛用型「果膠酵素」替代品，而應根據原料果膠型態、流程 pH、溫度、添加物與最終品質目標來定位。當目標問題確實來自 pectate 主鏈時，Pectate Lyase 能以選擇性 β -消除反應提供較溫和且具流程整合潛力的生物催化方案 [13]。

線上訂購 Pectate Lyase

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 Pectate Lyase →](#)

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. [5C30C2D613Abfb482Cd39Bf72191008F75Ffb30C](#). *Semantic Scholar*.
2. Zhou, Z., & Wang, X. (2021). [Rational design and structure-based engineering of alkaline pectate lyase from Paenibacillus sp. 0602 to improve thermostability](#). *BMC Biotechnology*, 21.
3. Suzuki, H., Morishima, T., Handa, A., Tsukagoshi, H., Kato, M., & Shimizu, M. (2022). [Biochemical Characterization of a Pectate Lyase AnPL9 from Aspergillus nidulans](#). *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 194, 5627 - 5643.
4. [RCSB PDB - 1IDK: PECTIN LYASE A](#). *Rcsb*.
5. Bai, Y., Wang, J., Yan, Y., Zhan, Y., Zhou, Z., & Lin, M. (2025). [A Low-Temperature-Active Pectate Lyase from a Marine Bacterium for Orange Juice Clarification](#). *Microorganisms*, 13.
6. Zhen, J., Tan, M., Xiao-Fu, Shu, W., Zhao, X., Yang, S., Xu, J., ... et al. (2020). [High-level extracellular production of an alkaline pectate lyase in E. coli BL21 \(DE3\) and its application in bioscouring of cotton fabric](#). *3 Biotech*, 10.
7. Colombi, B. L., Martins, Q., Imme, C. K., Silva, D. B. D., Valle, J. A., Andreaus, J., Arias, M., ... et al. (2021). [Understanding the effects of process parameters in the bioscouring of cotton and their interactions on pectate lyase activity by factorial design analysis](#). *Journal of the Textile Institute*, 113, 857 - 868.
8. Chen, Y., Huo, Y., Tang, S., Lin, Y., Zhang, X., & Zheng, S. (2025). [Characterization, Modification, and Preliminary Application of a Novel Pectate Lyase from Paenibacillus tarimensis in Ramie Degumming](#). *Biotechnology Journal*, 20.
9. Chen, J., Zhang, Y., Zhao, M., Zan, X., Pan, X., Zhang, C., Chen, Z., ... et al. (2025). [Unraveling Structural and Biochemical Insights into a Novel Thermo-Alkaline Pectate Lyase from Caldicellulosiruptor bescii for Sustainable Fabric Bioscouring.](#) *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
10. [32666183](#). *Nih*.
11. Bekli, S., Aktas, B., Gencer, D., & Aslim, B. (2019). [Biochemical and Molecular Characterizations of a Novel pH- and Temperature-Stable Pectate Lyase from Bacillus amyloliquefaciens S6 for Industrial Application](#). *Molecular Biotechnology*, 1-13.

12. Li, P., Wei, X., Wang, Y., Liu, H., Xu, Y., Zhang, Z., Li, J., ... et al. (2023). Improvement of optimum pH and specific activity of pectate lyase from Bacillus RN.1 using loop replacement. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11.
13. Agash, S. G. S., & Rajasekaran, R. (2024). Selection of alkaliphilic Bacillus pectate lyases based on reactivity and pH-dependent stability in simulated environment for industrial applications. *Carbohydrate Research*, 549, 109372 .
14. Kamijo, J., Sakai, K., Suzuki, H., Suzuki, K., Kunitake, E., Shimizu, M., & Kato, M. (2019). Identification and characterization of a thermostable pectate lyase from Aspergillus luchuensis var. saitoi. *Food Chemistry*, 276, 503-510 .
15. Maisuria, V., & Nerurkar, A. (2012). Biochemical properties and thermal behavior of pectate lyase produced by Pectobacterium carotovorum subsp. carotovorum BR1 with industrial potentials. *Biochemical Engineering Journal*, 63, 22-30.


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。