

# Pectin Lyase (果膠裂解酶)：果汁澄清、葡萄酒甲醇控制與高甲酯化果膠處理的技術應用

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

Pectin lyase (果膠裂解酶，常縮寫為 PNL) 是一類可直接切斷高甲酯化果膠主鏈的果膠酵素，主要應用於果汁與葡萄酒澄清、降低果膠造成的黏度與混濁，以及果蔬加工中的固液分離改善。它的特色是以  $\beta$ -消除機制作用於甲酯化果膠，不需要先由果膠甲酯酶去甲基化，因此在希望控制甲醇生成的水果發酵與飲料加工中具有技術價值。公開研究也顯示，pectin lyase 的應用效果會受到原料果膠結構、pH、溫度、酵素來源與製程條件影響，因此最適合被視為一種可整合進既有製程的專業生物加工工具，而不是單一萬用添加物。

## 酵素名稱與主要應用

**酵素名稱：** Pectin Lyase (果膠裂解酶；PNL)

**主要應用：** 果汁澄清、葡萄酒與蘋果酒加工中的果膠降解、降低果膠造成的黏度與過濾阻塞、果蔬副產物流變性改善，以及部分天然纖維與植物性原料處理。

在食品與飲料加工中，pectin lyase 最常被討論的應用是果汁澄清與果膠降解。早期果汁澄清研究即指出，不同果汁對酵素澄清的敏感性與其果膠性質有關，果膠越能維持膠體穩定，越可能造成濁度、懸浮與過濾困難；相對地，能有效破壞果膠網絡的酵素，便可改善透光性與固液分離效率 [1]。

## Pectin lyase 是什麼：與其他果膠酵素的差異

Pectin lyase 屬於果膠降解酵素的一員，但它與 polygalacturonase (聚半乳糖醛酸酶) 或 pectinesterase / pectin methylesterase (果膠甲酯酶) 不同。polygalacturonase 主要水解去甲酯化或低甲酯化半乳糖醛酸主鏈；果膠甲酯酶則移除果膠上的甲酯基，並可能釋放甲醇；pectin lyase 則直接對高甲酯化果膠的  $\alpha$ -1,4 鍵進行裂解，反應產物含有不飽和半乳糖醛酸末端 [2]。

這個差異在實務上很重要。許多水果原料中的果膠並不是單純、均一的聚合物，而是由不同甲酯化程度、側鏈與分子量分布組成的複雜多醣。當原料以高甲酯化果膠為主時，pectin lyase 可比「先去甲基化、再水解」的路徑更直接地降低果膠分子量與膠體穩定性，這也是它在果汁、酒類與果蔬加工中受到重視的原因。

## 作用機制： $\beta$ -消除如何改變果膠結構

Pectin lyase 的核心作用是  $\beta$ -消除 ( $\beta$ -elimination)。在此反應中，酵素不是以水分子直接水解糖苷鍵，而是促使果膠主鏈發生消除反應，使  $\alpha$ -1,4 連結斷裂，並在新形成的末端產生 4,5-不飽和結構。這種機制特別適合高甲酯化果膠，因為甲酯化羧基不必先被移除，也能進入裂解反應 [3]。

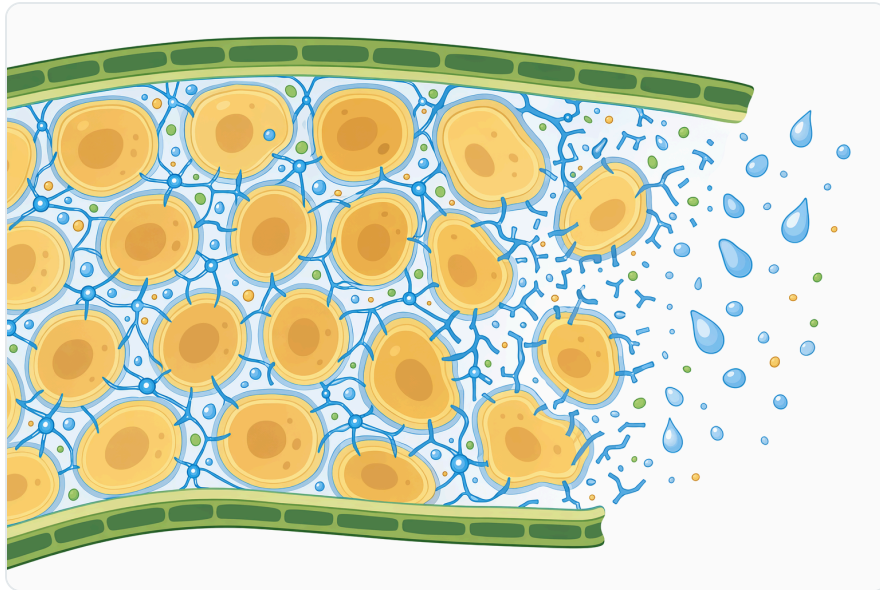


Figure 1. 富含果膠的細胞壁與中膠層結構會滯留液體和懸浮固形物，造成黏度增加、混濁及壓榨性不佳。

從製程角度看，這代表 pectin lyase 會把原本具有高分子量、可增加黏度並穩定懸浮顆粒的果膠，轉化為較短、較不容易維持膠體網絡的寡聚片段。當果膠網絡被破壞，果汁中的懸浮固形物較容易聚集、沉降或被過濾移除，液體黏度也可能下降，因此可改善澄清、壓榨、離心或過濾效率。

### 為什麼 pectin lyase 與甲醇控制相關

水果發酵飲品中的甲醇，主要與果膠甲酯基被酵素或內源性活性移除有關。蘋果酒研究顯示，發酵與陳釀過程中的甲醇生成，與果膠含量及果膠酶活性變化具有關聯；也就是說，果膠結構與酵素組成會影響最終甲醇風險 [4]。

Pectin lyase 的技術價值在於，它不以去甲基化作為必要步驟。相較於含有顯著果膠甲酯酶活性的處理方式，偏重 pectin lyase 的果膠降解策略可在分解高甲酯化果膠的同時，減少因去甲基化造成的甲醇生成壓力。葡萄酒相關研究曾利用高甲氧基化交聯不溶性固體材料，從商用果膠酵素中分離與利用 pectin lyase，目的即是降低葡萄酒加工中的甲醇生成 [2]。

## 與常見果膠酶的功能比較

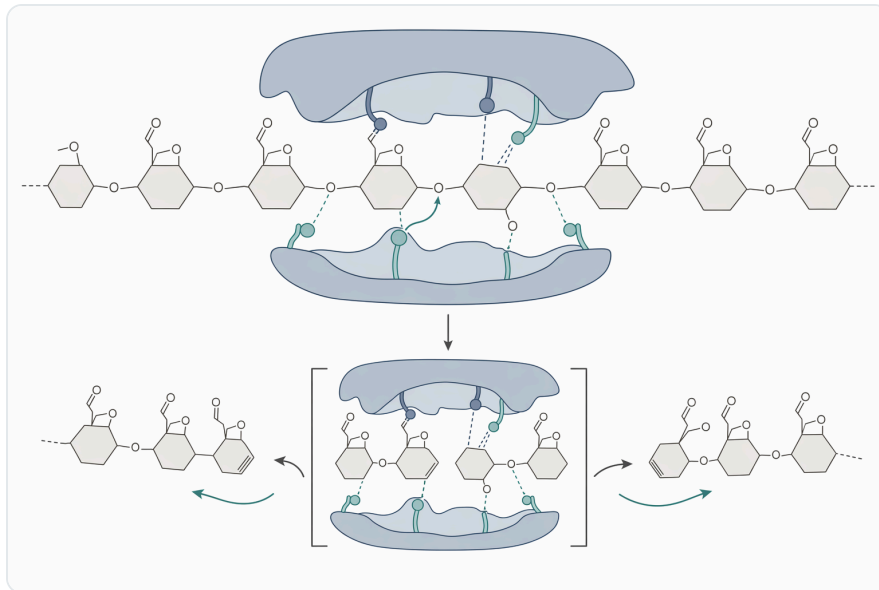
酵素類型	主要作用底物	主要反應方式	對甲醇生成的關聯	典型加工意義
Pectin lyase	高甲酯化果膠	$\beta$ -消除裂解主鏈	不需要先去甲基化，通常較適合甲醇控制策略	果汁澄清、酒類果膠降解、降低黏度
Polygalacturonase	低甲酯化或去甲酯化半乳糖醛酸鏈	水解糖苷鍵	本身不移除甲酯，但常與去甲基化步驟搭配	降低果膠分子量、協助澄清
Pectinesterase / Pectin methylesterase	甲酯化果膠	去甲基化	可釋放甲醇	改變果膠電荷與凝膠特性，但需注意甲醇
Pectate lyase	低甲酯化果膠酸 / 果膠酸鹽	$\beta$ -消除	與甲酯移除關聯較低	植物組織軟化、部分低甲酯化果膠處理

這個比較並不表示某一種酵素永遠優於另一種，而是指出它們在底物偏好與製程目標上的差異。實際加工中，複合果膠酶常同時含有多種活性；若目標是果汁澄清與甲醇控制，pectin lyase 的比例與搭配方式就會成為關鍵技術因素 [5]。

## 果汁澄清：降低濁度、改善過濾與視覺品質

果汁中的混濁不只是懸浮固形物問題，也與果膠、蛋白質、酚類與細胞壁碎片形成的膠體系統有關。果膠可增加液相黏度、穩定微粒、阻礙沉降，並造成過濾膜或濾材堵塞；pectin lyase 透過切斷高甲酯化果膠，使膠體穩定性下降，因此常被用於蘋果汁、柑橘汁、莓果汁與其他高果膠果蔬汁的加工研究 [6]。

研究中的酸性 pectin lyase 尤其受到果汁產業關注，因為多數果汁本身處於酸性環境。來自 *Aspergillus niger* 的酸性 pectin lyase 曾被報導在果汁澄清中具有有利效率，顯示當酵素的 pH 適應性與果汁環境匹配時，可減少額外調整製程條件的需求 [7]。



**Figure 2.** 果膠裂解酶透過  $\beta$ -消去作用切割甲酯化果膠，產生較短的不飽和果膠片段。

此外，也有研究探討鹼性或耐熱 pectin lyase 在果汁澄清中的應用。雖然「鹼性」聽起來與酸性果汁不完全一致，但部分酵素具備較寬的穩定性或在特定處理條件下仍可發揮效果；例如從 *Aspergillus niger* WHAK1 分離的鹼性耐熱 pectin lyase，被研究用於果汁澄清，顯示不同來源酵素可提供不同製程選項 [8]。

## 蘋果酒與葡萄酒：果膠降解與甲醇風險管理

在水果發酵飲品中，果膠酵素的使用目的通常包括提高出汁率、降低黏度、改善壓榨與澄清。但如果酵素組成含有較高果膠甲酯酶活性，可能促進甲醇釋放。蘋果酒研究指出，蘋果質地、果膠結構與甲醇生成之間存在關聯，顯示原料本身的細胞壁特性會影響發酵後甲醇水平 [9]。

這使得 pectin lyase 在酒類加工中的角色更具策略性。它可以針對高甲酯化果膠進行主鏈裂解，同時降低對去甲基化步驟的依賴。對於希望兼顧澄清、壓榨效率與甲醇控制的蘋果酒、梨酒或葡萄酒製程，pectin lyase 可作為果膠處理方案中的重要酵素類型，而不是單純以「總果膠酶」概念看待。

## 果蔬副產物與植物性原料處理

果蔬加工會產生大量果皮、果渣與壓榨副產物，這些材料通常含有果膠、纖維素、半纖維素與酚類化合物。若果膠含量高，物料可能呈現高黏度、難壓榨、難分離或萃取效率低等問題。研究已探討以黑胡蘿蔔渣與豌豆粉等農食副產物作為基質，共同生產 polygalacturonase 與 pectin lyase，反映果膠酵素與副產物增值之間的技術連結 [10]。

在副產物處理中，pectin lyase 的主要貢獻不是「完全分解所有植物細胞壁」，而是針對果膠網絡進行解聚。當果膠被降解，細胞壁結構鬆動、液體釋放更容易、後續固液分離負擔降低；若與纖維素酶、半纖維素酶或其他果膠酵素協同使用，則可能進一步改善萃取與質地轉換。

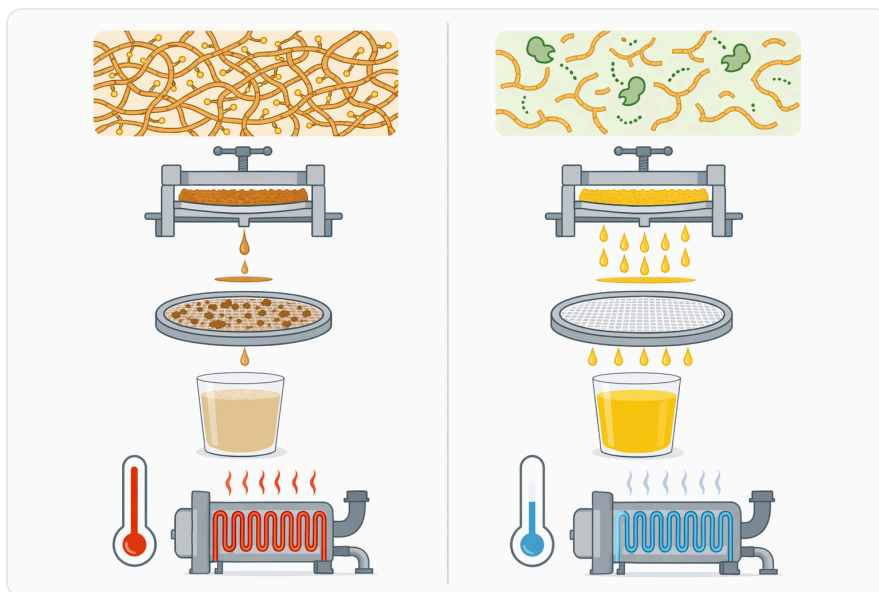


Figure 3. 果膠裂解酶、果膠酸裂解酶、聚半乳糖醛酸酶與果膠甲酯酶在底物偏好與反應方式上有所不同。

## 天然纖維與非食品應用：脫膠與植物組織鬆解

除食品飲料外，pectin lyase 也常被討論於天然纖維處理。植物纖維束中的果膠像黏合劑一樣存在於細胞間層，會使纖維與非纖維成分緊密結合。透過果膠裂解，可促進纖維分離、降低化學脫膠需求，並使處理條件較溫和。

不過，纖維處理常涉及較高 pH、較高溫或較複雜的鹽類與機械作用，因此使用的 pectin lyase 不一定與果汁澄清所需的酸性酵素相同。Brevibacillus borstelensis 來源的鹼性 pectin lyase 曾被純化並研究其在果汁與油脂萃取等應用上的潛力，顯示細菌來源酵素可拓展 pectin lyase 的應用範圍 [11]。

## 酵素來源與生化特性：真菌、細菌與工程化趨勢

Pectin lyase 可來自不同微生物來源，包含 Aspergillus、Trichoderma、Bacillus、Brevibacillus 等。不同來源的 pH 偏好、溫度穩定性、底物專一性與配方相容性可能差異很大，因此文獻中的單一酵素結果不應被直接等同於所有 pectin lyase 產品表現。

近年研究也持續優化 pectin lyase 的生產與特性。例如，2024 年有研究以單因子與反應曲面方法優化 pectin lyase 生產條件，反映學術與產業研發對此類酵素效率與可得性的關注 [12]。這類研究有助於理解酵素來源與培養條件如何影響產量，但對終端使用者而言，更重要的是掌握酵素在自身製程中

的功能表現與文件合規性。

## 製程整合：pH、溫度與原料果膠結構

Pectin lyase 的效果高度依賴製程環境。果汁通常為酸性，若使用酸性 pectin lyase，較能在不大幅調整 pH 的情況下運作；天然纖維或部分植物性原料處理則可能偏向中性至鹼性條件，因此會需要不同型態的酵素。低溫澄清也逐漸受到重視，因為較低處理溫度有助於保留香氣與熱敏性成分；相關研究已探索低溫活性的果膠裂解相關酵素用於橙汁澄清的可能性 [13]。



Figure 4. 在果汁加工中，果膠裂解酶處理可削弱由果膠支撐的混濁，並改善壓榨、沉降、離心與過濾。

原料本身同樣關鍵。蘋果、柑橘、葡萄、莓果與熱帶水果的果膠甲酯化程度、分子量、支鏈比例與細胞壁結構不同，對 pectin lyase 的反應速度與最終澄清效果也會不同。若原料果膠以高甲酯化型態為主，pectin lyase 的優勢通常更明顯；若果膠已高度去甲酯化，其他果膠酵素可能在協同處理中扮演更大角色。

## 安全性與食品加工合規觀點

食品酵素的安全性通常取決於來源菌株、生產製程、純化控制、殘留物與預期用途。歐洲食品安全相關評估曾針對含 endo-polygalacturonase、pectinesterase、pectin lyase 與其他活性的 *Aspergillus niger* 來源食品酵素進行安全性評估，說明果膠酵素複合物在食品用途上會依來源與用途進行個案審查 [5]。

另外，也有針對 *Aspergillus tubingensis* 來源、含 endo-polygalacturonase 與 pectin lyase 活性的食品酵素進行安全評估的公開資料。這些評估提醒使用者：不能只看酵素名稱，也需要看來源菌株、是否使用基因改造生產系統、預期用途及當地法規要求 [3]。

對於基因改造微生物來源的食品酵素，監管評估會更重視生產菌株特性、製程去除情形與最終酵素製備安全性。已有 pectin lyase 來源於基因改造 *Trichoderma reesei* 的安全評估案例，顯示此類產品在合規文件中通常需要清楚界定來源與用途 [14]。

## 證據強度與應用限制

目前 pectin lyase 在果汁澄清、果膠降解與甲醇控制策略中的科學基礎相對明確：其  $\beta$ -消除機制、對高甲酯化果膠的偏好，以及對濁度與黏度的影響，均有多篇實驗研究支撐。尤其在酒類加工中，果膠與甲醇生成的關聯已被反覆討論，而以 pectin lyase 取代或降低去甲基化路徑依賴，是具合理機制基礎的加工思路 [4]。

限制在於，不同 pectin lyase 之間差異可能很大。文獻中的某一株 *Aspergillus*、*Bacillus* 或 *Trichoderma* 來源酵素，其最適條件與穩定性不代表所有商業產品。果汁中酚類、糖度、酸度、懸浮固形物與加工前處理也會影響最終結果，因此 pectin lyase 的效果應以製程導入後的澄清度、過濾性、感官與合規目標綜合判斷。

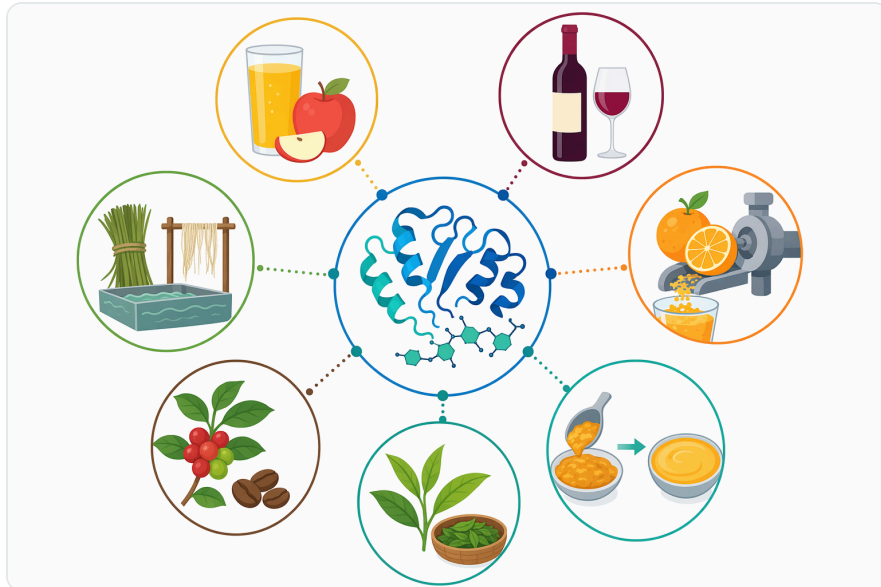


Figure 5. 果膠裂解酶可應用於果汁澄清、果漿壓榨性改善、植物萃取、纖維處理及果膠性殘渣處理。

## Enzymes.bio 供應資訊與文件交付方式

Enzymes.bio 作為酵素供應商，提供 pectin lyase 產品以 **1 kg 單位** 在線上直接購買；產品文件如 CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，以支援客戶進行內部合規、儲存、處置與製程評估。本文為基於公開文獻的技術教育文件，目的在於協助使用者理解 pectin lyase 的機制與應用情境，而非製造端規格說明。

在實務上，客戶可將 pectin lyase 視為一種針對高甲酯化果膠的加工工具。若製程目標是改善果汁澄清、降低果膠黏度、減少過濾阻塞，或在葡萄酒與蘋果酒加工中兼顧果膠降解與甲醇控制，pectin lyase 通常比單純依賴去甲基化路徑更符合機制需求。

### 結論：Pectin lyase 的核心價值

Pectin lyase 的核心價值在於：它能直接裂解高甲酯化果膠，降低果膠造成的黏度、混濁與加工阻力，同時避免把去甲基化作為果膠降解的必要前置步驟。這使它特別適合果汁澄清、蘋果酒與葡萄酒果膠管理，以及部分果蔬副產物與植物性原料處理。

從技術角度看，pectin lyase 不是單純的「澄清添加物」，而是與果膠結構、甲醇生成風險、pH 條件與固液分離效率密切相關的製程酵素。當原料含有高甲酯化果膠，且加工目標包括清亮度、過濾效率、黏度控制或甲醇風險降低時，pectin lyase 是值得納入製程設計的關鍵酵素類別。

#### 線上訂購 Pectin 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 Pectin 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. Ishii, S., & Yokotsuka, T. (1973). Susceptibility of fruit juice to enzymic clarification by pectin lyase and its relation to pectin in fruit juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 21, 269-272.
2. Wu, M., Jiang, C., Huang, P., Wu, M., & Wang, Y. (2007). Separation and utilization of pectin lyase from commercial pectic enzyme via highly methoxylated cross-linked alcohol-insoluble solid chromatography for wine methanol reduction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 4, 1557-62.

3. Lambré, C., Baviera, J. M. B., Bolognesi, C., Cocconcelli, P., Crebelli, R., Gott, D., Grob, K., ... et al. (2023). Safety evaluation of a food enzyme containing endo-polygalacturonase and pectin lyase activities from the non-genetically modified *Aspergillus tubingensis* strain NZYM-PE. *EFSA journal. European Food Safety Authority*, 21.
4. Han, Y., & Du, J. (2022). Relationship of the methanol production, pectin and pectinase activity during apple wine fermentation and aging. *Food Research International*, 159, 111645 .
5. Lambré, C., Baviera, J. M. B., Bolognesi, C., Cocconcelli, P., Crebelli, R., Gott, D., Grob, K., ... et al. (2022). Safety evaluation of the food enzyme containing endo-polygalacturonase, pectinesterase, pectin lyase and non-reducing end  $\alpha$ -l-arabinofuranosidase activities from the *Aspergillus niger* strain PEC. *EFSA journal. European Food Safety Authority*, 20.
6. Rodríguez-Nogales, J., Ortega, N., Perez-Mateos, M., & Busto, M. D. (2008). Pectin hydrolysis in a free enzyme membrane reactor: An approach to the wine and juice clarification. *Food Chemistry*, 107, 112-119.
7. Xu, S. X., Qin, X., Liu, B., Zhang, D., Zhang, W., Wu, K., & Zhang, Y. (2015). An acidic pectin lyase from *Aspergillus niger* with favourable efficiency in fruit juice clarification. *Letters in Applied Microbiology*, 60.
8. Poturcu, K., Ozmen, I., & Biyik, H. (2017). Characterization of an Alkaline Thermostable Pectin Lyase from Newly Isolated *Aspergillus niger* WHAK1 and Its Application on Fruit Juice Clarification. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42, 19-29.
9. Han, Y., Du, J., Bao, J., & Wang, W. (2025). Effect of apple texture properties and pectin structure on the methanol production in apple wine. *LWT*.
10. Esen, B., Uzuner, S., & Sezgin, H. T. (2024). Valorization of black carrot pomace and pea powder for co-production of polygalacturonase and pectin lyase. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15, 8501 - 8513.
11. Demir, N., Nadaroğlu, H., Demir, Y., Isik, C., Taskin, E., Adiguzel, A., & Gulluce, M. (2014). Purification and characterization of an alkaline pectin lyase produced by a newly isolated *Brevibacillus borstelensis* (P35) and its applications in fruit juice and oil extraction. *European Food Research and Technology*, 239, 127-135.
12. Gül, E., Dursun, A. Y., Tepe, O., Akaslan, G., & Pampal, F. G. (2024). Optimizing pectin lyase production using the one-factor-at-a-time method and response surface methodology. *Biotechnology and applied biochemistry*, 72, 638 - 651.
13. 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.
14. Lambré, C., Baviera, J. M. B., Bolognesi, C., Cocconcelli, P., Crebelli, R., Gott, D., Grob, K., ... et al. (2022). Safety evaluation of the food enzyme pectin lyase from the genetically modified *Trichoderma reesei* strain RF6199. *EFSA journal. European Food Safety Authority*, 20.


## 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](mailto: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。