

Industrial Grade Neutral Pectinase E3100：紙漿造紙用中性果膠酶的機制、應用與製程定位

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

Industrial Grade Neutral Pectinase E3100 是 Enzymes.bio 供應的紙工業用中性果膠酶，主要用於紙漿、回收纖維與造紙白水系統中，協助分解果膠與相關膠體物質。其應用重點不是直接「漂白血質素」，而是降低果膠造成的溶解 / 膠體負荷、改善濾水與助留環境，並可作為植物纖維原料或回收漿處理流程中的酵素輔助步驟。產品以 1 kg 單位線上銷售，CoA 與 SDS 會隨訂單提供；Enzymes.bio 的角色為供應商，而非製造商或檢測實驗室。

酵素名稱與主要應用

酵素名稱： Industrial Grade Neutral Pectinase E3100

酵素類型： 中性果膠酶，亦可稱為 neutral pectinase 或紙工業用 pectinase

主要應用： 紙漿與造紙流程中的果膠降解、溶解與膠體物質控制、白水系統改善、回收纖維處理、原料預處理，以及與脫墨或漂白輔助流程的整合。

在造紙系統中，果膠並不是唯一造成製程不穩定的物質，但它常與半纖維素、抽出物、細小纖維、填料、樹脂與回收紙黏著污染物共同形成複雜的溶解與膠體負荷。果膠酶的價值在於選擇性作用於果膠類多醣，降低其分子量、黏性與帶電行為，讓後續的助留、濾水、洗滌、脫墨或漂白步驟更容易維持穩定 [1]。

E3100 的產品定位為紙工業用中性 pectinase，適合放在接近中性條件的漿料或白水環境中使用。產品頁標示其適用於中性 pH 範圍，並列出約 pH 5–8、約 45–65°C 的操作參考區間；這類資訊應被視為製程導入時的操作窗口，而不是對所有紙廠原料都保證相同效果的承諾。

為什麼紙漿與造紙流程會需要果膠酶？

紙漿與造紙流程的核心是讓纖維分散、成形、濾水、結合並乾燥；任何會增加膠體穩定性、提高系統電荷負荷或造成沉積的物質，都可能放大化學品用量與紙機波動。果膠存在於植物細胞壁與中膠層中，尤其在非木材纖維、農業殘材、果皮類原料、部分草本纖維與回收纖維雜質中較受關注；其羧基與酯化結構會影響溶液黏度、金屬離子交互作用與陽離子需求 [2]。

在紙廠實務中，果膠相關問題通常不會單獨以「果膠含量過高」呈現，而是表現為白水濁度上升、助留劑效率不穩、濾水變慢、濕端電荷需求增加、沉積物累積、紙面斑點或回收漿脫墨效率不足。這些現象也可能與黏著物、樹脂、澱粉、乳膠、印刷油墨與細小纖維有關，因此果膠酶通常被視為濕端控制或前處理工具之一，而非單一萬用解決方案 [3]。

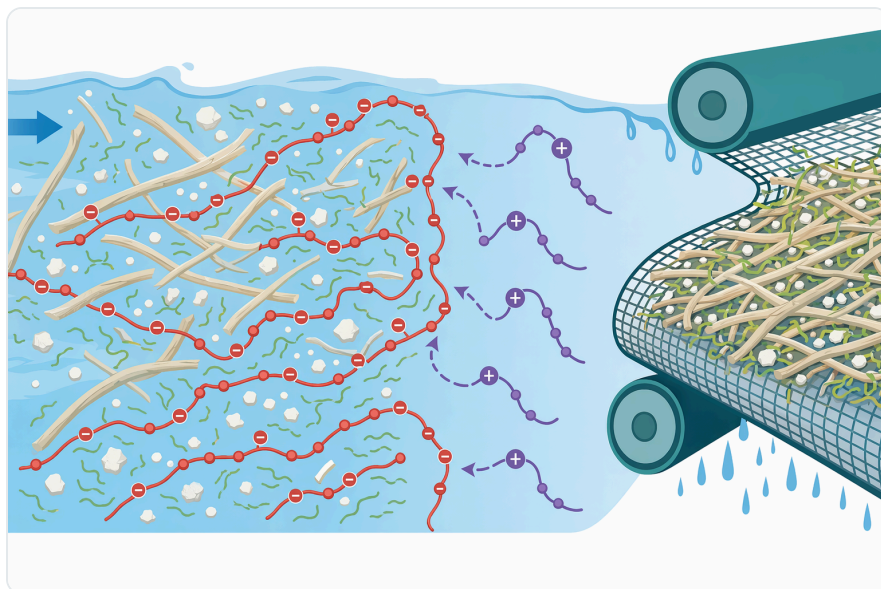


Figure 1. 溶解的果膠聚合物可能會先消耗濕端陽離子添加劑，使這些添加劑尚未與纖維、細小纖維及填料作用前即被耗用。

環境與法規壓力也是紙廠評估酵素技術的背景之一。紙漿造紙業的廢水處理、COD 排放、水回用與能源效率已成為產業成本與合規的重要議題；研究指出，紙廠面對更嚴格的排放標準時，往往需要同時考慮製程端減量與末端治理，而酵素輔助流程屬於較溫和的製程端選項之一 [4]。

果膠酶的作用機制：從分子降解到製程改善

果膠是一組結構不均一的酸性多醣，典型主鏈包含半乳糖醛酸單元，並可能帶有甲酯化、乙醯化與側鏈結構。不同果膠酶的作用點不同：polygalacturonase 主要水解半乳糖醛酸主鏈的糖苷鍵；pectin lyase 或 pectate lyase 可透過裂解反應切斷聚合鏈；pectin methylesterase 則移除甲酯基，改變果膠的電荷與後續可降解性 [5]。

當果膠酶進入漿料系統後，最直接的效果是將高分子果膠切成較短片段，使其黏度、膠體穩定性與纖維表面黏附能力下降。對紙廠而言，這種分子層級的變化可能轉化為較低的陰離子干擾、較好的助留劑反應環境，以及較容易透過洗滌、稀釋或白水循環控制移除的溶解物 [3]。

需要注意的是，果膠酶的主要目標不是纖維素主鏈，因此它與強纖維素酶不同，理想狀態下不應以大量削弱纖維強度為目的。若處理條件過度、配方中混有其他酵素活性，或與高溫、極端 pH、氧化劑共同作用，纖維性質仍可能受到影響；因此在紙廠內部導入時，通常會把濾水、留著、紙張強度與白

水負荷一起觀察，而不是只看單一指標 [1]。

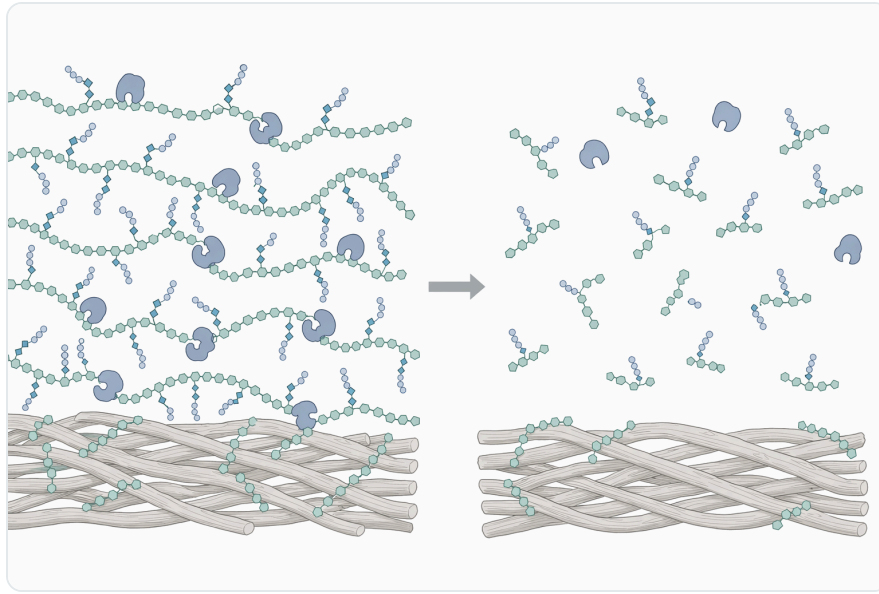


Figure 2. 中性果膠酶可將帶有電荷的長鏈果膠聚合物切解為較短片段，降低其對陽離子需求量的影響，從而減少果膠相關干擾。

E3100 在紙工業中的主要應用場景

1. 濕端與白水系統的膠體負荷控制

在封閉水循環程度提高的紙機中，白水內的溶解與膠體物質更容易累積。果膠類多醣與細小纖維、填料表面、樹脂或回收紙雜質交互作用時，可能提高系統陽離子需求，使助留劑、定著劑與濕端化學品的表現變得不穩。固定化果膠酶用於造紙白水去除陰離子雜質的研究，說明果膠酶確實可被設計為降低白水中陰離子干擾的生物處理工具 [3]。

E3100 的實務定位可以理解為一種在中性條件下處理果膠類干擾物的酵素。它並不取代整套濕端化學控制，但可降低部分由果膠造成的膠體負荷，使助留、瀘水與成形條件更接近穩定狀態。對使用回收纖維、農業纖維或高封閉循環白水的產線，這類應用通常最具討論價值。

2. 改善瀘水與紙機運行性

瀘水不良可能來自打漿度、細小纖維比例、填料、膠體物、黏著物與濕端化學品交互作用。果膠酶降低果膠造成的黏稠與膠體穩定後，可間接改善水分排出，使成形網與壓榨前段更容易維持操作穩定。酵素介入造紙的綜述指出，酵素可用於纖維改質、瀘水改善、脫墨與漂白輔助，並具有較溫和、選擇性較高的製程特性 [1]。

不過，濾水改善不應被簡化為「加入果膠酶必然提升車速」。實際結果取決於漿種、填料、白水封閉程度、電荷平衡與添加點。若原料中的主要問題不是果膠，而是合成黏著物、乳膠、蠟質或高灰分填料，果膠酶的貢獻會較有限；此時它可能需要與其他酵素或濕端控制策略搭配，而不是單獨承擔所有改善任務 [6]。

3. 回收纖維與脫墨流程輔助

回收紙漿含有油墨、塗佈黏結劑、膠黏劑、澱粉、填料與各式添加物，造成脫墨、洗滌與漂白流程更複雜。酵素輔助脫墨的研究顯示，酵素處理可提升實驗室尺度的紙漿脫墨與漂白表現，並可伴隨污染物移除效果；雖然不同研究使用的酵素組合不盡相同，但其共同邏輯是透過選擇性分解纖維表面或污染物周圍的高分子結構，促進油墨與雜質釋放 [7]。



Figure 3. 偏酸性、中性與鹼性果膠酶的概念，主要差異在於適用的製程 pH，以及其果膠分解活性可發揮作用的紙漿或生物質環境。

果膠酶在回收纖維中通常不是唯一主角。對於油脂性污染物，脂肪酶可能更直接；對於半纖維素包覆或纖維表面改質，木聚醣酶或纖維素酶可能更顯著。含脂肪酶的酵素雞尾酒在廢紙脫墨研究中被用來改善較清潔的脫墨流程，說明回收漿常需要依污染物組成選擇多酵素策略 [6]。

4. 非木材纖維與農業殘材的前處理

甘蔗渣、麥稈、草本纖維、果皮或其他農業殘材常含有較多非纖維性組分與果膠樣物質。這些成分會覆蓋纖維、影響藥液滲透，並在後段煮漿、漂白或抄紙時增加溶出物負荷。針對甘蔗渣的果膠酶處理研究指出，pectinase treatment 可改變纖維表面形態與組成，並影響後續製漿性能，支持其作為非木材原料前處理工具的可行性 [8]。

農業殘材製漿也常需要移除非製程組分，例如灰分、抽出物、可溶性多醣或金屬離子。針對麥稈農業殘材的前處理研究顯示，降低非製程成分可影響後續紙張機械強度與製漿表現；雖然該研究重點並非 E3100，但它說明了「在製漿前先處理干擾性組分」對非木材纖維有實際意義 [9]。

與其他造紙酵素的差異

果膠酶的價值在於處理果膠與相關膠體問題；若把它與木聚醣酶、纖維素酶或脂肪酶混為一談，容易高估或誤用。以下比較有助於理解 E3100 在酵素工具箱中的位置。

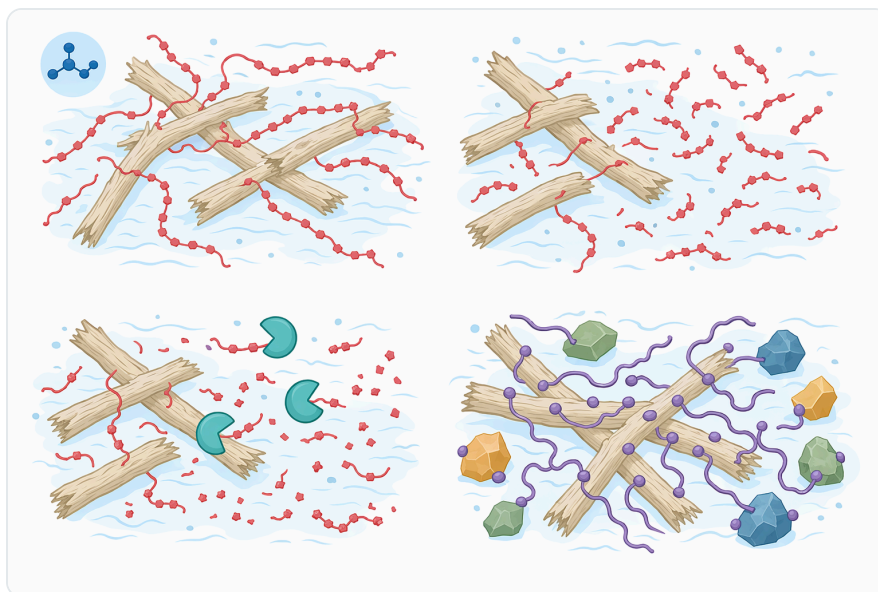


Figure 4. 已發表的過氧化氫漂白熱磨機械漿研究顯示，果膠酶處理與陽離子需求量降低及陽離子聚合物效能提升有關。

酵素類型	主要作用對象	在紙漿造紙中的典型用途	與中性果膠酶 E3100 的差異
中性果膠酶	果膠、果膠酸、果膠相關膠體	降低果膠性陰離子干擾、改善白水與濕端穩定、輔助非木材纖維前處理	E3100 的核心應用即屬此類，適合中性條件下處理果膠負荷
木聚醣酶	半纖維素中的木聚醣	漂白輔助、纖維表面改質、部分脫墨流程	主要作用於木聚醣，不以果膠降解為核心；鹼性木聚醣酶也曾被應用於廢紙脫墨研究 [10]
纖維素酶	纖維素表面或微纖維	打漿能耗調整、纖維改質、脫墨輔助	對纖維主體影響較直接，使用不當可能影響強度；果膠酶通常更偏向去除膠體干擾 [1]

酵素類型	主要作用對象	在紙漿造紙中的典型用途	與中性果膠酶 E3100 的差異
脂肪酶	油脂、酯類污染物	黏著物、油墨或樹脂性污染物控制	對油脂性 stickies 較有針對性；廢紙脫墨酵素雞尾酒研究常將其與其他酵素搭配 [6]
漆酶 / 氧化酵素	酚類、木質素相關結構	漂白輔助、木質素改質、廢水處理研究	目標較接近氧化與木質素相關反應；果膠酶並非木質素降解酵素 [1]

這張表的重點是：E3100 的合理應用應圍繞「果膠—膠體—濕端穩定」這條主線。若現場主要問題是油墨粒徑、合成膠黏劑或木質素殘留，果膠酶可能仍有輔助價值，但不應被定位為唯一機制來源。

製程整合：添加點、條件與現場判讀

E3100 的產品頁將其定位為紙工業用中性果膠酶，並提供中性 pH 與中溫區間的操作參考。對紙廠而言，這代表它較適合放在不需要強酸或強鹼調整的漿料段、前處理槽、混合槽或白水相關流程中，而不是高鹼煮漿、強氧化漂白或會迅速使蛋白質失活的段落。

在連續紙機中，酵素添加點通常需要兼顧混合、停留時間、溫度、pH 與後段化學品相容性。果膠酶需要與底物接觸才會產生效果；若添加點太靠近成形網，可能反應時間不足；若添加點位於高剪切、強氧化或極端 pH 環境，酵素也可能失去應有活性。因此，實務上會把它視為一個製程單元，而不是單純的「濕端添加劑」 [1]。

對非木材纖維或農業殘材，果膠酶更常被理解為前處理工具。先鬆動或降解纖維表面的果膠與膠質層，可提高後段藥液或機械作用的可及性；這與酸洗、熱水抽提或其他預處理降低非製程組分的思路相似，但酵素方式通常條件較溫和、選擇性較高 [9]。

研究證據如何支持紙工業應用？

公開研究對果膠酶的支持可分為兩類：一類是果膠酶本身的生化研究，說明其可降解果膠、受 pH 與溫度影響，並可由不同微生物來源產生；另一類是造紙或纖維處理應用研究，說明酵素介入可影響脫墨、漂白、白水或原料前處理。Aspergillus niger 來源果膠酶的研究即顯示，果膠酶可透過特定底物誘導與純化表徵方式被研究其熱力學與穩定性，為工業條件下評估酵素可用性提供基礎 [5]。



Figure 5. E3100 的應用定位包括紙漿處理、降低 DCS、支援助留劑效率、提升細小纖維與填料留著、促進排水、去皮或木片處理，以及在果膠相關情況下輔助磨漿。

在造紙應用方面，固定化果膠酶處理白水陰離子雜質的研究，與甘蔗渣纖維果膠酶處理研究，皆提供了果膠酶能影響造紙相關基質的證據。這些研究不能直接等同於所有商業紙機上的效果，但能支持一個較保守且可信的結論：當系統中果膠或果膠樣膠體是重要干擾來源時，pectinase 具備改善製程環境的合理機制與實驗基礎 [3]。

脫墨與漂白方面，酵素處理的公開研究多半使用複合酵素或不同酵素類型，而非單獨只使用果膠酶。研究顯示，酵素介入可提升實驗室尺度脫墨與生物漂白效率，並可能降低部分污染負荷；這支持 E3100 可作為回收纖維流程中的一個輔助工具，但不應把所有脫墨改善都歸因於果膠酶本身 [7]。

預期效益與限制：應以機制對應現場問題

E3100 最合理的預期效益包括：降低果膠性膠體負荷、減少部分陰離子干擾、改善濕端化學品反應環境、協助瀘水與留著穩定、降低非木材纖維前處理阻力，以及在回收纖維流程中輔助釋放污染物。這些效益的共同前提是：現場確實存在可被果膠酶作用的底物，且添加點能提供足夠的接觸條件。

限制也必須明確。果膠酶不會像木質素氧化酵素一樣直接針對木質素，也不會像脂肪酶一樣專門分解油脂性黏著物；如果紙機沉積物主要由熱熔膠、壓敏膠、乳膠或樹脂酸鹽組成，果膠酶的單獨效果可能有限。酵素介入造紙的綜述也指出，不同酵素的作用目標與工藝效益各有邊界，應依原料與製程目的選擇 [1]。

另一項限制是現場變異。不同紙廠的纖維來源、回收紙配比、白水封閉程度、填料系統與濕端化學品差異很大，導致同一種酵素在不同產線的表現不可能完全相同。因此，較可信的技術敘述應避免承諾固定比例的化學品節省、產能提升或廢水降低，而是以「在特定底物與條件下具有改善潛力」來描述

[11]。

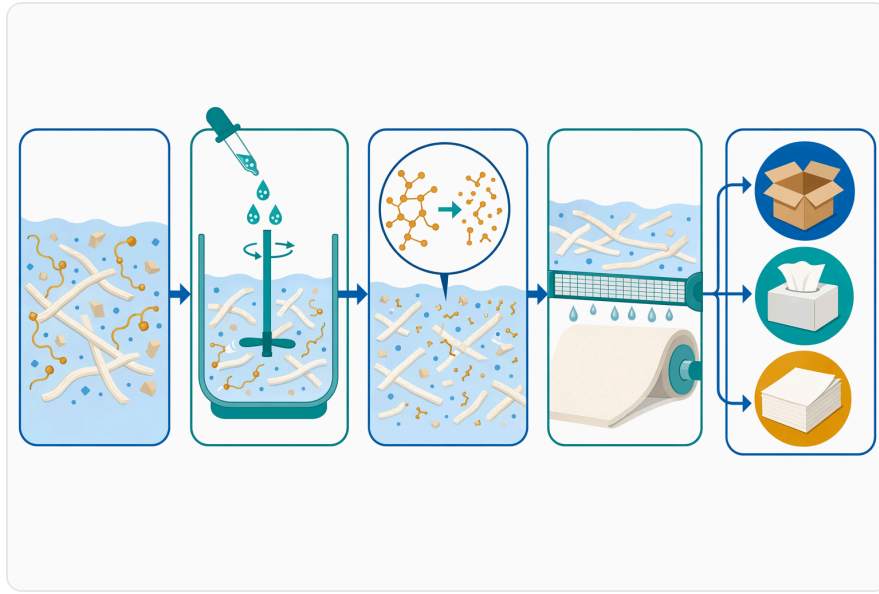


Figure 6. 有效使用的關鍵在於將酵素添加於能接觸含果膠水相的位置，並在其所要支援的濕端化學作用之前，提供足夠的停留時間。

與永續、廢水與資源效率的關聯

紙漿造紙業的永續議題不只在於末端廢水處理，也包含原料利用率、白水回用、化學品效率與能源使用。水資源最佳化回顧指出，紙廠用水與水回收牽涉多個單元操作，單一技術通常無法獨立解決所有水務問題；但若能在製程端減少膠體干擾與非必要化學負荷，將有助於整體水系統管理 [11]。

果膠酶的永續價值在於它可能以較溫和的生物催化方式，降低部分高分子干擾物對濕端與廢水系統的壓力。這不代表使用 E3100 就能直接保證 COD 降低或符合法規標準；更準確的說法是，當果膠性溶出物是 COD、陰離子需求或白水不穩的來源之一時，果膠酶處理可納入源頭控制策略評估 [12]。

在回收纖維場景中，酵素輔助脫墨與清潔製程也與永續目標一致。含脂肪酶與其他酵素的研究顯示，較清潔的廢紙脫墨流程可透過酵素降低對部分傳統化學處理的依賴；E3100 若用於此類流程，較適合被定位為針對果膠與膠體干擾的輔助酵素，而非完整脫墨配方本身 [6]。

產品供應與文件資訊

Industrial Grade Neutral Pectinase E3100 由 Enzymes.bio 以 1 kg 單位線上供應，產品頁將其列為紙工業用中性果膠酶。隨訂單提供的 CoA 與 SDS，可用於收貨、保存、安全與內部文件管理；這些文件屬於供應與安全資訊，並不代表 Enzymes.bio 進行製造或第三方檢測服務。

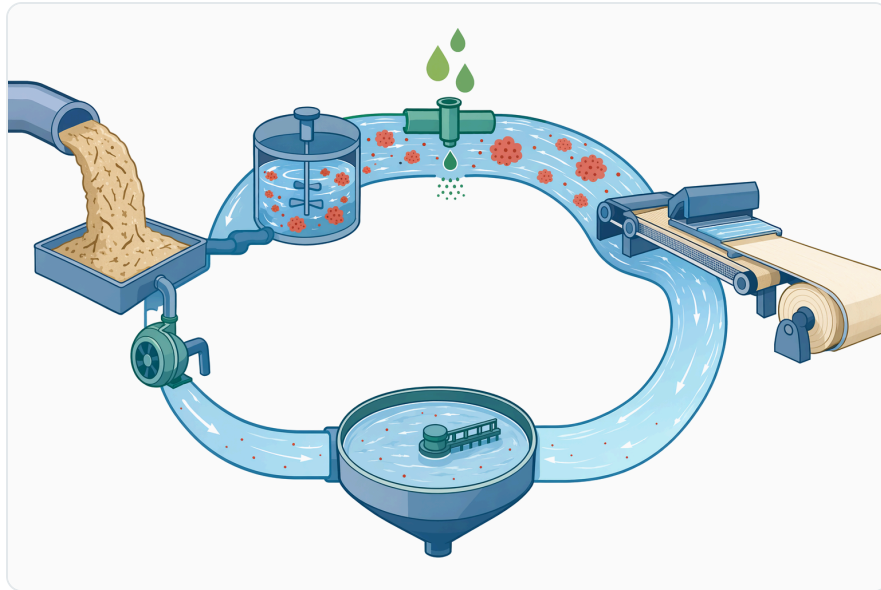


Figure 7. 當果膠來源的 DCS 成為主要干擾因素時，酵素解聚可協助降低陽離子需求量、使循環水更潔淨，並讓留著與排水反應更可預測。

對 B2B 使用者而言，E3100 的技術重點應放在「是否符合現有紙漿系統的 pH、溫度與接觸條件」以及「現場問題是否與果膠或果膠樣膠體有關」。若這兩個前提成立，中性 pectinase 可作為濕端穩定、白水控制、回收纖維處理或非木材原料前處理的一個有根據選項 [1]。

技術結論

Industrial Grade Neutral Pectinase E3100 的主要應用，是在紙漿與造紙流程中分解果膠及相關膠體物質，協助改善濕端化學環境、白水負荷、濾水穩定與部分纖維前處理問題。其作用機制來自果膠酶對半乳糖醛酸主鏈與果膠修飾結構的降解，使高分子果膠轉化為較低黏性、較易管理的片段 [5]。

公開研究支持果膠酶可用於白水陰離子雜質控制、非木材纖維前處理與造紙相關酵素介入；回收紙脫墨與漂白領域也有多酵素處理的研究基礎。不過，E3100 的效果應依現場底物、添加點、pH、溫度、停留時間與濕端化學系統判讀，不能被泛化為對所有紙種、所有沉積物或所有脫墨問題都有相同成效 [3]。

作為供應商提供的紙工業用中性果膠酶，E3100 適合希望以溫和生物催化方式處理果膠性膠體負荷的紙漿與造紙應用。它的價值不在於取代所有化學品或製程控制，而是在正確的原料與流程位置中，針對果膠這一類干擾因子提供有機制、有文獻基礎且可整合進既有產線的處理選項。

線上訂購 Industrial Grade Neutral Pectinase E3100 – Paper Industry Enzyme

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 Industrial Grade Neutral Pectinase E3100 – Paper Industry Enzyme →](#)

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. Tanveer, A., Gupta, S., Dwivedi, S., Yadav, K., Yadav, S., & Yadav, D. (2023). Innovations in papermaking using enzymatic intervention: an ecofriendly approach. *Cellulose*, 30, 7393 - 7425.
2. Govindaraji, P. K., & Vuppu, S. (2020). Characterisation of pectin and optimization of pectinase enzyme from novel Streptomyces fumigatiscleroticus VIT-SP4 for drug delivery and concrete crack-healing applications: An eco-friendly approach. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27, 3529 - 3540.
3. Wu, R., He, B., Ben, Z., Zhao, G., Li, J., & Li, X. (2014). Preparation of immobilized pectinase on regenerated cellulose beads for removing anionic trash in whitewater from papermaking. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 89, 1103-1109.
4. Zhang, Z., Ou, X., & Cai, W. (2023). How do firms respond to the tighter COD discharge standards? Evidence from the pulp and paper industry in China. *Applied Economics*, 56, 3741 - 3759.
5. Esawy, M., Gamal, A., & Kamel, Z. (2022). Optimization of Aspergillus niger NRC1ami Pectinase Using Citrus Peel Pectin, Purification, and Thermodynamic Characterization of the Free and Modified Enzyme. *Waste and Biomass Valorization*, 13, 4823 - 4837.
6. Nathan, V. K., & Rani, M. E. (2020). A cleaner process of deinking waste paper pulp using Pseudomonas mendocina ED9 lipase supplemented enzyme cocktail. *Environmental science and pollution research international*, 27, 36498 - 36509.
7. Nathan, V. K., Rani, M. E., Gunaseeli, R., & Kannan, N. (2018). Enhanced biobleaching efficacy and heavy metal remediation through enzyme mediated lab-scale paper pulp deinking process. *Journal of Cleaner Production*.
8. Effects Of Pectinase Treatment On Pulping Properties And The Morphology And Structure Of Bagasse Fiber. *Ncsu*.
9. Alam, I., & Sharma, C. (2022). Water Down Acid Pretreatment of Wheat Stubble Agro-residues to Eliminate Non-process Components Meant for Papermaking and Its Impact on Mechanical Strength Properties of Paper Products. *Asian Journal of Science and Applied Technology*.

10. Helianti, I., Ulfah, M., Noer, S., Nurhayati, N., & Saefudin, E. (2018). Cloning and expression of alkalophilic xylanase gene from an Indonesia local Bacillus halodurans CM1 in Escherichia coli and its application on deinking process of waste paper. *Malaysian Journal of Microbiology*.
11. Ocklind, F., Liback, K., Lundqvist, L., Harge, W., & Venkatesh, G. (2024). Optimisation of Water-Use in Pulp and Paper Mills: A Streamlined Review of Scientific Journal Publications. *Studia Ecologiae et Bioethicae*.
12. Dagar, S., Singh, S., & Gupta, M. K. (2022). Economics of advanced technologies for wastewater treatment: Evidence from pulp and paper industry. *Frontiers in Environmental Science*, 10.


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。