

Cutinase Hydrolase Enzyme For Pulp And Paper Industry：紙漿與造紙用角質酶水解酵素的作用機制、應用與限制

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

Cutinase Hydrolase Enzyme For Pulp And Paper Industry 是一類以水解酯鍵為核心功能的工業酵素，可用於紙漿與造紙流程中含酯類沉積物、樹脂性 pitch、回收紙 stickies、疏水性有機殘留與部分聚酯型污染物的輔助管理。

在紙廠應用上，cutinase 不應被理解為漂白酵素或萬能清潔劑，而是針對特定含酯鍵污染物，透過改變其黏著性、疏水性與表面特性來降低沉積風險的生物催化工具。

Enzymes.bio 供應此類產品作為線上直接銷售的 1 kg 單位商品；Enzymes.bio 不是製造商，也不是實驗室，CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供。

Cutinase Hydrolase Enzyme 是什麼，為何與造紙有關？

Cutinase，又稱角質酶或 cutin hydrolase，屬於能催化酯鍵水解的酵素類型。其名稱源自 cutin，也就是植物表皮角質層中的聚酯性結構；從功能上看，cutinase 的關鍵不是「分解所有有機物」，而是對酯類、脂質性結構、部分聚酯表面與相關疏水性基質具有反應潛力。近年關於 cutinase 催化水分散聚酯的研究顯示，聚酯主鏈結構、親水基團含量與酵素—基質接觸狀態都會影響其水解速率與反應機制 [1]。

在紙漿與造紙產業中，許多難處理污染物並非單純纖維碎片，而是來自木材抽出物、樹脂酸酯、脂肪、蠟、膠黏劑、塗佈材料、油墨樹脂與包裝殘留的複合物。這些物質常以溶解與膠體物質、微細粒子或黏著團聚物存在於白水與濕端系統中，會干擾留著、施膠、紙張外觀與紙機運轉穩定性；造紙文獻已將 dissolved and colloidal substances 的控制視為濕端化學與品質管理的重要議題 [2]。

Cutinase 與造紙的關聯，正是建立在「部分 pitch、stickies 與疏水性殘留物含有可被酯鍵水解影響的結構」這一點上。當酯鍵被水解後，原本較疏水、較黏著或較容易沉積的物質，可能轉變為較小、極性較高或表面性質不同的片段，因而較容易被白水循環、篩選、浮選、清洗或分散系統帶離關鍵設備表面。已有專利文獻直接提出利用 cutinase 處理造紙白水的概念，顯示此類酵素在造紙污染物管理上的應用方向並非純理論推測 [3]。

主要應用：pitch、stickies、白水污染物與聚酯型殘留的輔助管理

Pitch 控制：針對木材樹脂與脂質性沉積物

Pitch 通常來自木材本身的抽出物，包括脂肪酸、樹脂酸、三酸甘油酯、蠟與其他疏水性成分。這些物質在製漿、漂洗、打漿與紙機濕端中可能釋出、乳化、再聚集，並沉積於管線、篩網、毛毯、壓榨部與乾燥部表面，造成斑點、孔洞、紙病、清洗頻率增加與停機風險。造紙系統中溶解與膠體物質的累積已被認為會影響紙機運行、產品品質與濕端添加劑效能 [2]。

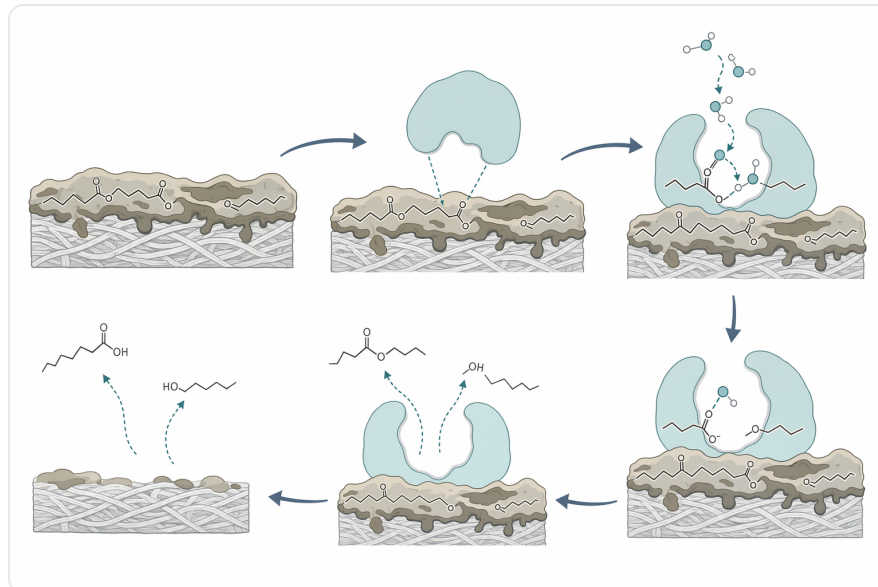


Figure 1. 角質酶會以水水解可接觸的酯鍵，將疏水、富含酯類的殘留物轉化為極性較高、帶有酸基與醇基的片段。

Cutinase 對 pitch 的潛在價值，是將其中可接觸的酯類或脂質性結構進行水解，使其從較大、較疏水的沉積前驅物，轉變為較不易黏附或較容易分散的分子片段。這一邏輯與脂解型酵素處理三酸甘油酯的機制相近：脂解酵素可透過逐步水解酯鍵，改變油脂性污染物在表面的殘留與去除行為；雖然相關研究場景不同於紙機濕端，但可作為理解「酯鍵水解降低疏水性附著」的機制基礎 [4]。

Stickies 管理：回收紙中的膠黏污染物

Stickies 是回收紙處理中特別棘手的問題，來源包括標籤膠、壓敏膠、膠帶、熱熔膠、書背膠、塗佈黏結劑、包裝膜與印刷油墨樹脂。這些污染物在碎漿與機械剪切後可能被切成更小粒徑，通過篩選後在後段重新聚集，並附著於網部、毛毯、烘缸或紙面上。由於 stickies 的組成高度變動，單一化學或物理策略往往難以完全處理；造紙濕端污染物控制因此常需要結合分散、固定、篩選、浮選與生物催化方法 [2]。

Cutinase 對 stickies 的合理應用範圍，主要在於含酯鍵或聚酯型組分的黏著物。例如部分壓敏膠、聚丙烯酸酯類黏著劑、聚酯型塗層與包裝殘留，可能具有可受酯酶類作用影響的化學鍵或表面結構。cutinase 不會使所有 stickies 消失，也無法取代篩選與浮選；較務實的期待，是透過表面水解降低黏性、改變疏水性或減少再沉積傾向，讓既有物理去除與濕端控制系統更容易發揮效果。針對造紙白水使用 cutinase 的公開專利方向，也支持其被定位於污染物與白水系統管理，而非單純纖維改質 [3]。

再生纖維與脫墨流程的輔助角色

再生紙系統中的污染物比原生漿複雜，除了油墨與填料外，還包含塗佈紙、食品包裝、膠帶、標籤、塑膠膜、合成纖維與多層複合材料殘留。傳統酵素在造紙中已有多種應用，例如 xylanase 可協助漂白前處理，cellulase 與 hemicellulase 可改變纖維表面與脫墨效果，這些技術都屬於造紙生物技術發展的重要方向 [5]。



Figure 2. 當樹脂沉積物、蠟質、黏著物、塗層或植物表面殘留物含有可接觸且可水解的酯鍵時，角質酶最具應用價值。

Cutinase 在再生纖維處理中更適合被視為「疏水性酯類污染物管理」的輔助酵素，而不是主要脫墨酵素。若油墨樹脂、塗佈黏結劑或包裝殘留中存在可被水解的酯鍵，cutinase 可能有助於削弱其與纖維表面的附著，或改變污染物粒子的表面性質，使其較容易在後續篩選、洗滌或浮選中被移除。以廢紙作為誘導性原料生產纖維素酶與木聚糖酶的研究，也反映出廢紙系統本身可成為酵素技術與再生纖維處理交會的重要場域 [6]。

聚酯型與合成材料殘留的表面作用

現代回收紙料中，聚酯膜、塗層、熱封材料與合成纖維殘留日益常見。cutinase 類酵素對聚酯表面水解的研究，使其在此類污染物管理上具有科學基礎。PET 奈米塑膠的酵素降解研究顯示，聚酯材料可在特定條件下被酵素水解，並可觀察其反應過程中的熱力學訊號變化；這類研究證明了聚酯酯鍵可被

生物催化系統攻擊，但並不代表紙機條件下能快速完全降解塑膠 [7]。

另一個相關方向是 PET 水解酵素的研究。IsPETase 被描述為 PET 水解的新型生物催化劑，代表聚酯降解酵素工程已成為塑膠與材料處理領域的活躍研究主題 [8]。對造紙而言，這些證據的實務意義不是宣稱 cutinase 能在濕端中完全分解所有塑膠，而是說明其可能透過表面水解改變聚酯污染物的親水性、界面張力與附著行為，進而支援污染物分散與去除。

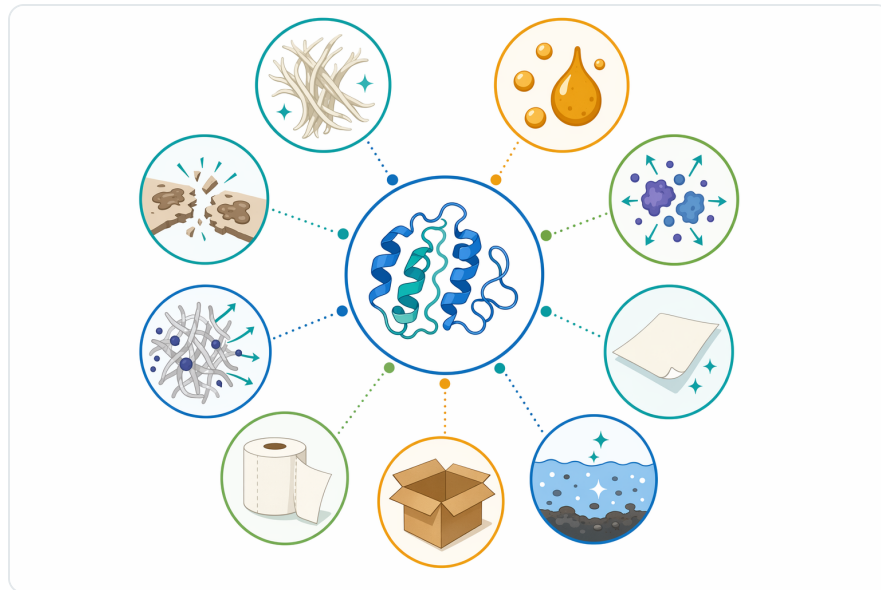


Figure 3. 在紙漿與造紙領域，主要應用包括樹脂與蠟質管理、再生纖維黏著物處理輔助、非木材纖維加工、輔助保持精磨系統清潔，以及水或污泥調理。

作用機制：酯鍵水解如何降低黏著、疏水與沉積

Cutinase 的核心反應可簡化為：酯鍵與水反應，被酵素催化後生成羧酸端與醇端。若這個反應發生在脂肪酯、蠟酯、樹脂酯、聚酯表面或黏著劑中的酯鍵上，分子極性、尺寸、界面活性與黏附能力都可能改變。cutinase 催化水分散聚酯的研究指出，受質中的磺酸鹽基團比例會影響聚酯在水相中的分散與水解行為，說明酵素反應並不只取決於化學鍵是否存在，也受材料親水性與可接觸性控制 [1]。

在紙漿與造紙系統中，這個機制可拆解為三個層次。第一，cutinase 需接觸污染物表面；若污染物被填料、澱粉、聚合物或金屬皂包覆，反應可能受限。第二，酯鍵水解會改變污染物表面的化學組成，使其較不易黏附於金屬、織物或纖維表面。第三，被改質後的污染物仍需透過紙廠既有單元操作移除或穩定分散，例如篩選、浮選、洗滌、固定劑、分散劑或白水管理。造紙濕端中溶解與膠體物質的行為受到電荷、疏水性、粒徑、鈣離子與高分子添加劑共同影響，因此酵素反應必須放在整體濕端化學中理解 [2]。

Cutinase 的作用通常不是「立刻清潔紙機」，而是逐步降低問題污染物形成沉積的傾向。若污染物組中含有較多可水解酯鍵，且系統條件允許酵素維持活性與接觸時間，效果較可能被觀察到；反之，若 stickies 主要由不易水解的烴類、無機填料包覆物或高度交聯材料組成，cutinase 的貢獻可能有限。這也是為什麼 cutinase 在造紙中應定位為特定污染物控制工具，而非通用型除膠或脫墨方案 [3]。

與常見造紙酵素的比較

造紙工業使用酵素已有相當長的歷史，但不同酵素的作用靶點、製程位置與預期效益差異很大。xylanase、cellulase、lipase、esterase 與 cutinase 都可能出現在紙漿與造紙相關討論中，但它們不應被互相替代；造紙生物技術文獻指出，酵素應用通常依據纖維改質、漂白輔助、脫墨、沉積控制與廢水處理等不同目標進行選擇 [5]。

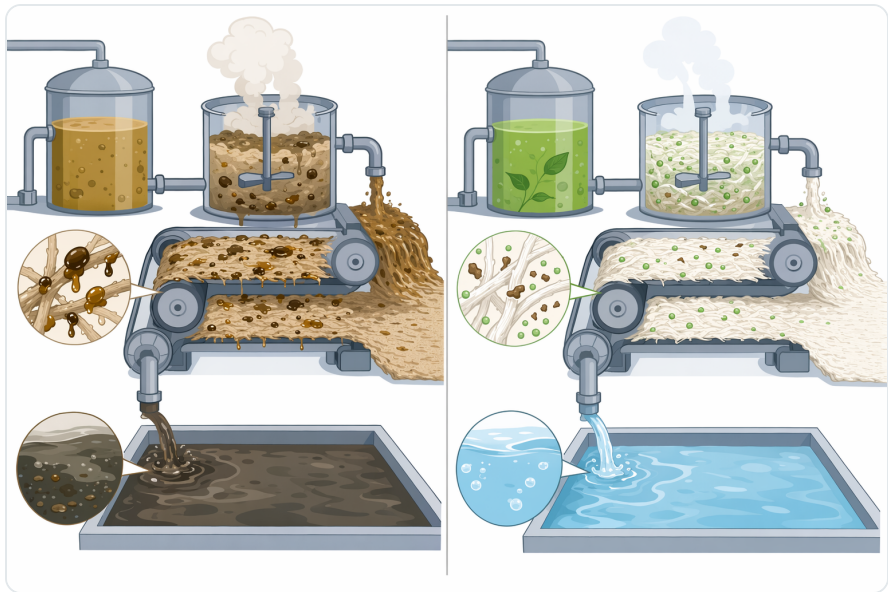


Figure 4. 角質酶不同於木聚醣酶、纖維素酶、漆酶、果膠酶和脂肪酶，因為其實際作用是針對性水解酯鍵，而不是廣泛改性纖維、木質素或多醣。

酵素類型	主要作用靶點	在紙漿與造紙中的典型定位	與 cutinase 的差異
Cutinase hydrolase	酯鍵、部分脂質性結構、聚酯表面	pitch、stickies、白水中含酯類污染物與聚酯型殘留的輔助管理	對部分聚酯表面與疏水性酯類污染物具補充價值 [1]
Lipase	三酸甘油酯、脂肪性污染物	木材脂質與 pitch 控制	較聚焦油脂水解；cutinase 對部分聚酯表面也可能有作用
Esterase	小分子酯、部分黏著劑酯鍵	stickies 與含酯膠黏污染物控制	cutinase 可視為更偏向 polyesterase 特性的酯鍵水解工具

酵素類型	主要作用靶點	在紙漿與造紙中的典型定位	與 cutinase 的差異
Xylanase	半纖維素中的木聚醣	漂白前處理、降低漂白化學品需求	主要改變纖維壁與木質素可及性，不是沉積物控制核心酵素 [5]
Cellulase	纖維素表面	脫墨、纖維表面改質、精磨輔助	作用於纖維本體；cutinase 主要針對含酯污染物，不應被視為纖維素酶替代品

這個比較的重點在於避免過度延伸。cutinase 的價值來自酯鍵水解與聚酯表面作用；xylanase 的價值多在漂白與半纖維素調控；cellulase 則與纖維表面、微細纖維化與脫墨相關。若紙廠面臨的是木質素漂白效率問題，cutinase 不是第一線工具；若問題是回收紙膠黏物、樹脂沉積或含聚酯殘留的白水污染，cutinase 才更有討論空間 [5]。

製程整合時的合理考量

Cutinase 的效果高度依賴製程條件。作為蛋白質酵素，它需要在相對適合的溫度、pH、水相環境與接觸時間中發揮催化作用；強氧化劑、極端酸鹼、高剪切下的短停留時間或某些不相容化學品，可能降低其有效性。造紙生物技術發展的一項核心挑戰，就是讓酵素能在既有紙廠流程中運作，而不是要求紙廠大幅改造所有單元操作 [5]。

實務上，cutinase 較可能被安排在污染物與酵素能充分接觸的位置，例如碎漿後、漿池、白水循環相關段落、回收紙處理線或特定濕端前處理區域。這些位置的共同點是具有水相分散、混合與一定停留時間，能讓酵素接觸 pitch、stickies 或聚酯型殘留物。利用 cutinase 處理造紙白水的公開技術方向，也反映出白水循環與污染物負荷管理是此類酵素值得關注的應用場景 [3]。

需要注意的是，cutinase 並不負責把污染物「變不見」。它更像是將污染物改性，使其較不易黏附、較容易分散或較容易被後續單元移除。若後段缺乏有效篩選、浮選、洗滌、固定或排放控制，經酵素改質的污染物仍可能留在系統中。這也是為什麼 cutinase 應與紙廠現有濕端化學、回收紙淨化與白水管管理策略並列考慮，而非孤立使用 [2]。

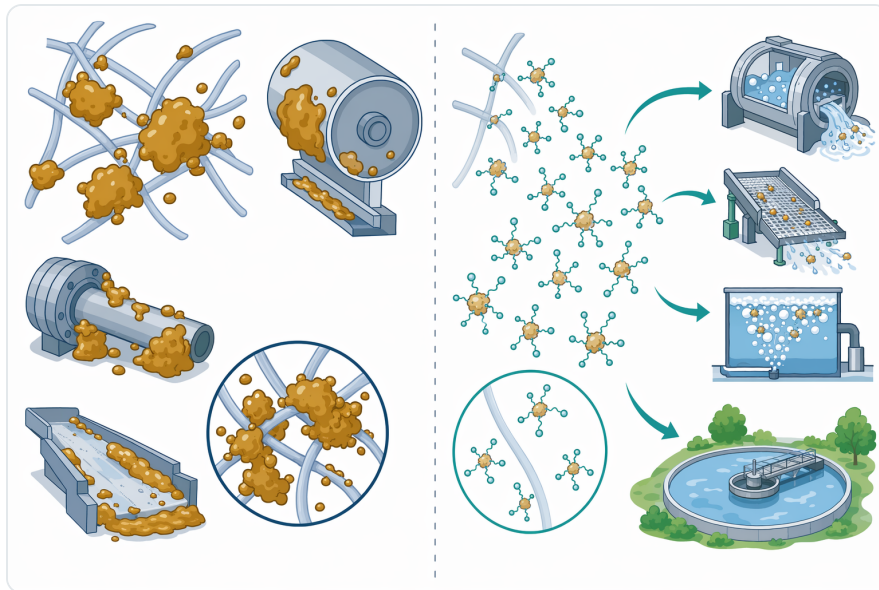


Figure 5. 成功的處理會透過降低污染物的內聚性、黏著性與對纖維的附著力來改變其行為，而不一定需要將整個沉積物溶解。

證據強度：哪些結論較穩健，哪些需要保守解讀？

較穩健的結論是：cutinase 類酵素能催化酯鍵水解，且在聚酯材料、脂質性或酯類基質上具有明確的研究基礎。水分散聚酯的 cutinase 催化研究顯示，聚酯化學結構與親水基團含量會改變水解速率與機制，支持 cutinase 對聚酯型基質具有可討論的反應能力 [1]。

同樣穩健的是：酵素已經是紙漿與造紙生物技術的一部分。xylanase、cellulase、lipase 與其他水解酵素在漂白、脫墨、纖維改質與污染物控制中皆有不同程度的應用與研究基礎；造紙產業採用酵素的動機通常包括降低化學品負荷、改善選擇性、減少能耗或提升再生纖維處理效率 [5]。

需要保守解讀的是：cutinase 在所有紙廠條件下對 pitch 或 stickies 的實際效益。雖然已有利用 cutinase 處理造紙白水的公開技術方向，也有聚酯水解與 PET 相關研究支持其反應能力，但紙廠污染物組成差異很大，且濕端條件複雜。PET 奈米塑膠與 PET 水解酵素的研究能證明聚酯水解的生物催化可能性，卻不能直接等同於每條紙機都能快速降解聚酯污染物 [7]。

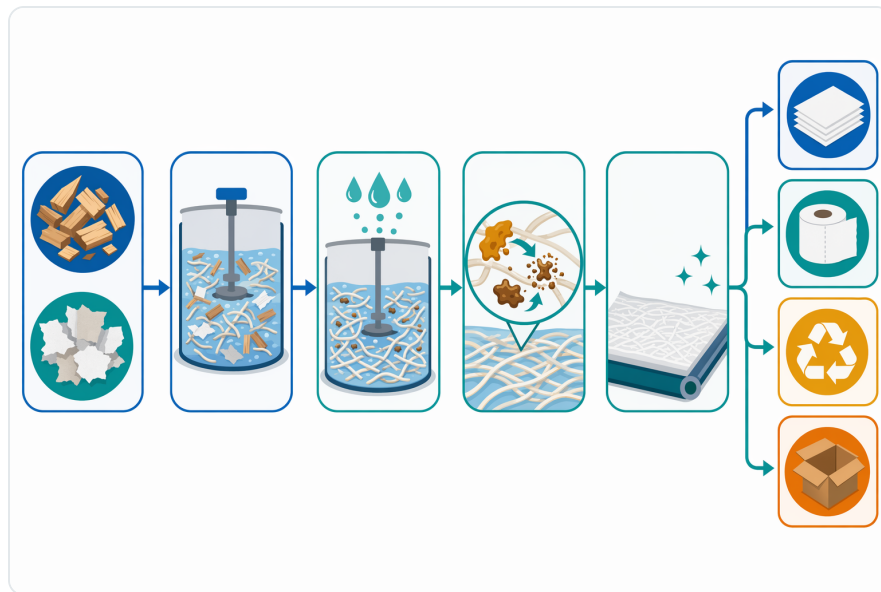


Figure 6. 角質酶最適合用於潮濕且易接觸的製程區域，例如再生纖維備料、紙漿漿料預處理、損紙處理、非木材纖維加工，以及特定的水或污泥調理步驟。

另一項需要保守表述的是 cutinase 的生產與配方穩定性。研究顯示，cutinase 表現、摺疊與產量提升涉及轉錄、轉譯、蛋白質摺疊與伴護蛋白等複雜因素，代表不同來源與製程的 cutinase 產品可能在穩定性、相容性與應用表現上有所差異 [9]。對 B2B 使用者而言，較準確的理解是依據自身紙料與製程情境評估其適用性，而不是將文獻中的單一酵素結果套用到所有商業產品。

適合的應用情境與不適合的期待

Cutinase Hydrolase Enzyme For Pulp And Paper Industry 較適合用於含酯類污染物比例較高、且沉積或黏著問題明顯的系統。例如使用回收紙比例高、標籤與包裝殘留多、白水循環封閉程度高、pitch 或 stickies 導致紙病與停機風險增加的紙廠，都可能是 cutinase 值得評估的應用場景。造紙白水中的污染物控制與回收系統穩定性本來就是濕端管理的重要議題，cutinase 可被視為其中一種生物催化工具 [2]。

它不適合被期待為漂白替代品、纖維素改質主酵素、完整脫墨方案或一次性設備清洗劑。若目標是降低漂白化學品，xylanase 相關策略通常更直接；若目標是改善纖維表面與脫墨，cellulase 或 hemicellulase 可能更相關；若目標是處理無機垢、矽酸鹽、碳酸鈣沉積或完全非酯型黏著物，cutinase 的化學作用靶點就不一定匹配 [5]。

更務實的期待是：在合適條件下，cutinase 可協助降低含酯污染物的黏著性與沉積傾向，並補充傳統濕端化學、機械篩選與白水控制。這種定位特別適合現代造紙業面臨的混合原料挑戰，因為回收紙與包裝材料中的污染物越來越多樣，單純依賴單一物理或化學方法往往不足 [3]。

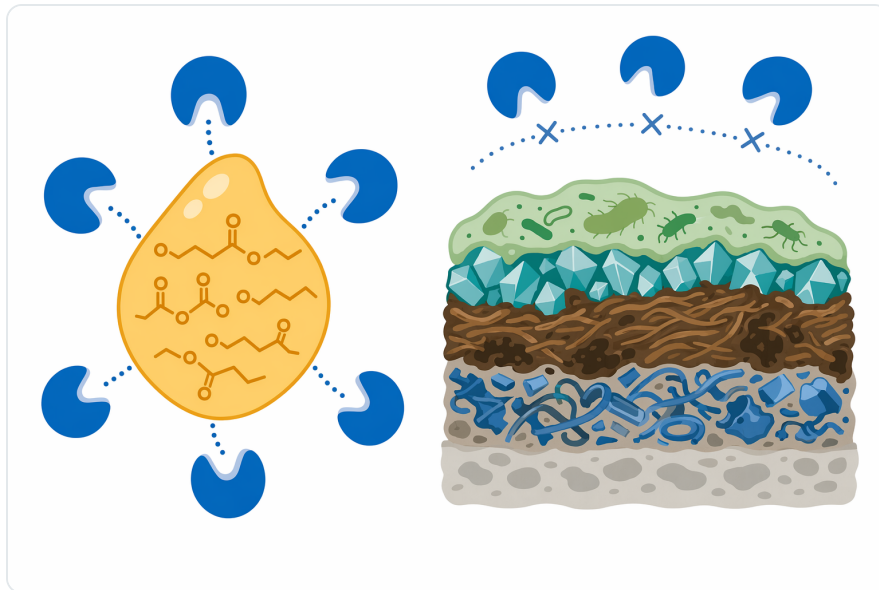


Figure 7. 角質酶對新鮮或已分散、富含酯類的殘留物最可能展現實際效果；而硬化的混合沉積物與非酯類材料則需要其他控制方法。

Enzymes.bio 供應資訊與文件提供方式

Enzymes.bio 供應的 **Cutinase Hydrolase Enzyme For Pulp And Paper Industry** 面向紙漿與造紙相關使用者，產品以 **1 kg 單位** 在線上直接銷售。Enzymes.bio 是供應商，不是製造商，也不是實驗室；因此本文以教育性與技術理解為目的，說明 cutinase 在造紙污染物管理中的機制與合理應用範圍，而不宣稱特定製造來源、製程能力或實驗室服務。

每筆訂單會隨附 CoA 與 SDS，便於收貨後進行內部文件保存、安全管理與物料登錄。對使用者而言，最重要的是把 cutinase 視為一種針對酯鍵與聚酯型污染物的生物催化輔助工具：它的價值來自選擇性水解與表面改質，而不是取代整套紙廠濕端控制、漂白、脫墨或清洗流程。

整體而言，Cutinase Hydrolase Enzyme For Pulp And Paper Industry 的技術定位可以概括為：在含 pitch、stickies、白水膠體污染物與部分聚酯型殘留的紙漿與造紙系統中，透過酯鍵水解降低疏水性附著與沉積風險。現有文獻支持 cutinase 對酯類與聚酯基質的作用基礎，也支持酵素在造紙生物技術中的廣泛價值；但在實務上，仍應依污染物組成、製程條件與整體濕端管理策略來理解其效益邊界 [5]。

線上訂購 Cutinase Hydrolase Enzyme For Pulp And Paper Industry

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 Cutinase Hydrolase Enzyme For Pulp And Paper Industry →](#)

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, J., Xu, J., Yuan, J., & Fan, X. (2024). Hydrolysis rate and mechanism of water-dispersed polyesters with different sulfonate group contents in the cutinase-catalyzed system. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137775 .
2. Miao, Q., Huang, L., & Chen, L. (2012). Advances in the Control of Dissolved and Colloidal Substances Present in Papermaking Processes: A Brief Review. *Bioresources*, 8, 1431-1455.
3. 吴敬, 洪若宇, 宿玲恰, & 陈晟 (2016). Method for treating papermaking white water by utilizing cutinase.
4. Flipsen, J., Appel, A., Hijden, H. T. W., & Verrips, C. (1998). Mechanism of removal of immobilized triacylglycerol by lipolytic enzymes in a sequential laundry wash process. *Enzyme and Microbial Technology*, 23, 274-280.
5. Viikari, L. (2002). Trends in pulp and paper biotechnology. *Progress in Biotechnology*, 21, 1-5.
6. Dong, M., Wang, S., Xu, F., Xiao, G., & Bai, J. (2021). Efficient utilization of waste paper as an inductive feedstock for simultaneous production of cellulase and xylanase by *Trichoderma longiflorum*. *Journal of Cleaner Production*.
7. Vogel, K., Wei, R., Pfaff, L., Breite, D., Al-Fathi, H., Ortmann, C., Estrela-Lopis, I., ... et al. (2021). Enzymatic degradation of polyethylene terephthalate nanoplastics analyzed in real time by isothermal titration calorimetry. *Science of the Total Environment*, 773, 145111 .
8. Kan, Y., He, L., Luo, Y., & Bao, R. (2021). IsPETase Is a Novel Biocatalyst for Poly(ethylene terephthalate) (PET) Hydrolysis. *ChemBioChem*, 22.
9. Hsiang, C., & Ng, I. (2025). Deciphering Transcription-Translation-Folding (TX-TL-FD) for Enhancing Cutinase Production in T7 System and Genetic Chaperone-Equipped *Escherichia coli* Strains. *ACS Synthetic Biology*, 14, 1843 - 1852.

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。