

Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber : 酸性纖維素酶的纖維水解機制與主要應用

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

Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber 是一種適合用於偏酸性製程的纖維素酶產品，主要用途是水解植物纖維中的纖維素結構，協助釋放糖類、改善纖維可加工性，並支援食品副產物、飼料青貯、生質材料與纖維改質等應用。

它的核心作用不是「溶解所有植物細胞壁」，而是切斷纖維素鏈中的 β -1,4 糖苷鍵，使高聚合度纖維逐步變成較短的纖維寡糖、纖維二糖或可進一步利用的糖類；實際效果會受到原料結晶性、木質素遮蔽、含水狀態、酸鹼條件與是否搭配其他酵素影響。

Enzymes.bio 的角色是線上酵素供應商，不是製造商或檢測實驗室；此產品以 1 kg 單位銷售，CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，本文重點在於協助 B2B 使用者理解酸性纖維素酶的技术邏輯與應用邊界。

酵素名稱、產品角色與主要應用範圍

Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber 可直譯為「用於水解纖維的酸性纖維素酶」。在產業語境中，acid cellulase 通常指能在酸性或微酸性條件下發揮作用的纖維素酶系統，而不一定代表單一純化酵素分子；它的商業價值在於可嵌入果漿處理、植物副產物改質、飼料發酵、生質糖化與纖維材料處理等含水製程中，協助降低纖維素結構阻力 [1]。

纖維素是植物細胞壁最主要的結構性多醣之一，由葡萄糖單元以 β -1,4 鍵連接成長鏈，並透過氫鍵形成高度有序的微纖維。纖維素酶的技术目的，是將這種長鏈與結晶區域逐步打開，使原本難以釋放、難以發酵或難以機械加工的植物纖維，轉變為較容易處理的短鏈醣類與鬆散纖維結構 [2]。

主要應用可分為四大類：第一是食品與植物萃取，例如果泥、果漿、椰子粕、咖啡副產物與馬鈴薯膳食纖維的細胞壁改質；第二是飼料與青貯，協助高纖維植物料釋放可發酵底物；第三是木質纖維素糖化與生質材料製程；第四是纖維素纖維、紙漿或奈米纖維素前處理 [3]。

為什麼植物纖維需要酵素水解？

植物纖維的加工難點，不只在於「纖維素很多」，更在於纖維素通常被半纖維素、果膠、木質素、蛋白質與酚類物質共同包埋。這些組成形成複雜的細胞壁網路，使水、酵素與微生物不容易接近纖維素鏈，因此原料即使經過粉碎，也不代表纖維素已經充分暴露 [4]。

在食品副產物中，這種限制特別明顯。以椰子粕膳食纖維為例，研究比較纖維素酶水解、酸處理與粒徑分布對物化與功能性質的影響，顯示酵素處理會改變膳食纖維的結構與功能表現，而不是單純把原料「變細」而已 [3]。這類結果說明，酸性纖維素酶可被視為一種結構改質工具，而非只有糖化用途。

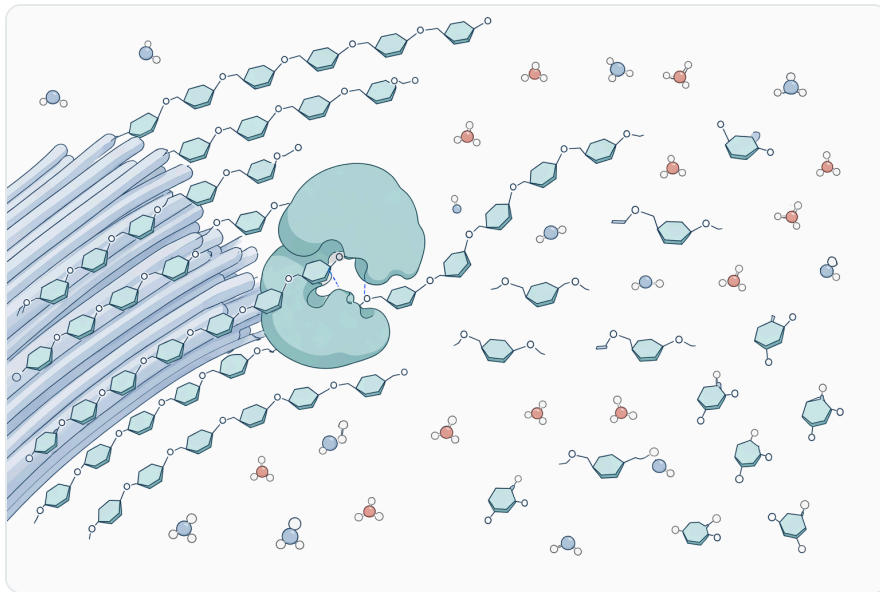


Figure 1. 酸性纖維素酶會水解水合纖維素中可接觸的 β -1,4 鍵，縮短纖維素鏈並削弱植物纖維網絡。

對木質纖維素原料而言，結晶度與聚合度也是關鍵阻力。研究指出，當纖維素的結晶性與聚合度下降時，其對酵素水解與腸道微生物發酵的敏感性會增加；換言之，纖維素是否容易被水解，取決於分子有序程度與酵素可接近性，而不只是纖維素總量 [5]。

作用機制：酸性纖維素酶如何「水解纖維」？

β -1,4 鍵切割與纖維素鏈降解

酸性纖維素酶的核心反應，是對纖維素主鏈中的 β -1,4 糖苷鍵進行水解。內切型纖維素酶會在纖維素鏈內部切割，快速降低聚合度並產生新的鏈端；外切型酵素則可從鏈端逐步釋放纖維二糖；若系統中有 β -葡萄糖苷酶，纖維二糖可進一步轉化為葡萄糖，減少終產物累積對水解反應的限制 [2]。

不同來源的纖維素酶具有不同的底物偏好與作用模式。早期對 *Aspergillus niger* 纖維素酶的研究已指出，纖維素酶對底物結構具有選擇性，並不會以相同效率處理所有纖維性多醣；這也是為什麼實務上常需要根據原料組成，搭配木聚醣酶、果膠酶或其他細胞壁降解酵素 [1]。

「酸性」代表製程相容性，而非萬用條件

產品名稱中的 acid，重點在於其可用於偏酸性或微酸性加工環境。這與許多植物原料情境相容，例如果汁、果醬、果酒前處理、部分發酵原料、酸化副產物處理與某些紙漿或纖維素材料流程；但酸性纖維素酶仍然會受到溫度、含水量、鹽類、酚類、金屬離子與抑制物影響 [6]。

偏酸環境常見於食品與發酵製程，但「酸性」不等於所有酸性條件都適用。當酸度過高、熱處理過度或基質含有大量抑制性化合物時，酵素蛋白可能失去構形穩定性，或因底物被木質素、果膠與半纖維素遮蔽而無法有效作用；因此，酸性纖維素酶應被放在整體製程條件中評估，而不是孤立看待 [7]。

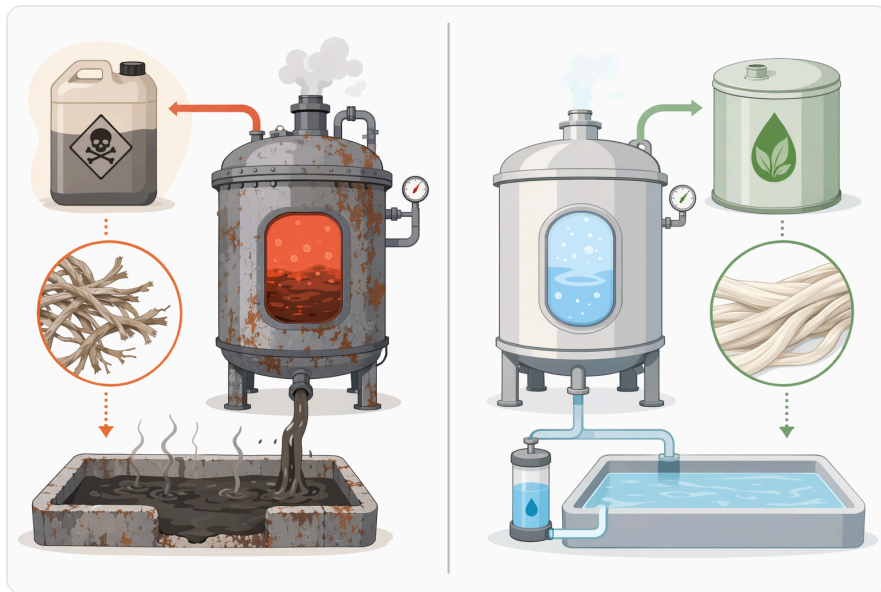


Figure 2. 酸性、中性與鹼性纖維素酶會依據製程的 pH 化學條件，以及基質對該化學環境的耐受性來選擇。

纖維素酶與半纖維素酶的協同

植物細胞壁很少只含纖維素。半纖維素可與纖維素微纖維交織，木質素則可能包覆纖維素並造成酵素非生產性吸附；因此，單獨加入纖維素酶時，若底物可接近性不足，反應效率可能受到限制。土壤宏基因體研究中描述的雙功能 cellulase/hemicellulase，即反映自然界常透過多功能或多酵素系統共同處理複雜植物多醣 [7]。

酵素結構本身也常呈現模組化特徵。對 *Erwinia carotovora* 主要纖維素酶 CelIV 的分子分析指出，酵素可能透過不同功能域的「混合搭配」演化，形成可結合、定位或催化特定多醣結構的能力；這有助於理解為什麼纖維素酶系統通常不是單一催化核心即可解決所有纖維問題 [8]。

應用比較：不同製程中 acid cellulase 的角色

應用場景	主要處理對象	acid cellulase 的功能	常見搭配邏輯	需要注意的限制
食品副產物與膳食纖維改質	椰子粕、咖啡渣、馬鈴薯纖維、玉米不溶性纖維	降低纖維聚合度、增加孔隙、改變持水與發酵特性	可與物理前處理、酸處理或其他細胞壁酵素配合	功能性變化依原料差異很大
果漿、果汁與植物萃取	水果細胞壁、果皮、果渣	協助破壞纖維素骨架，促進汁液、多酚或香氣前驅物釋放	常與果膠酶、半纖維素酶並用	高果膠原料不能只依賴纖維素酶
飼料與青貯	高纖維枝葉、秸稈、牧草	釋放可發酵糖，支援乳酸菌發酵與纖維降解	可與乳酸菌或複合酵素系統搭配	含水率、微生物背景與植物成熟度影響大
木質纖維素糖化	稻草、玉米秸稈、農業殘渣、預處理生質料	將暴露的纖維素轉為短鏈糖或可發酵糖	通常需要前處理與半纖維素酶協同	木質素與結晶區會限制酵素可接近性
紙漿與纖維素材料	溶解漿、纖維素纖維、奈米纖維素前驅物	改變纖維反應性、降低聚合度、輔助後續酸水解或材料加工	可與機械、酸處理或預精製流程配合	過度水解可能影響纖維強度與得率

食品副產物與膳食纖維改質

酸性纖維素酶在食品副產物升級利用中，最有價值的不是把纖維完全分解成糖，而是改變纖維結構，使其具備更好的加工性或功能性。椰子粕膳食纖維研究顯示，纖維素酶水解、酸處理與粒徑調整會影響膳食纖維的物化與功能性質，這說明酵素可作為調整纖維結構的溫和工具 [3]。

咖啡副產物也是類似案例。研究以動態高壓、乙醯化與纖維素酶水解改質咖啡加工副產物，目標是發展具功能性與永續價值的食品原料；這類研究顯示，酵素水解可與物理或化學改質形成互補，使原本低價值副產物轉向更高附加價值用途 [9]。

馬鈴薯膳食纖維研究則將高靜水壓與纖維素酶結合，探討其化學組成、結構、物化與功能性變化。此類結果對 B2B 使用者的啟示是：當原料纖維結構緊密時，單一酵素處理可能不足，而物理前處理可增加酵素接觸底物的機會 [10]。

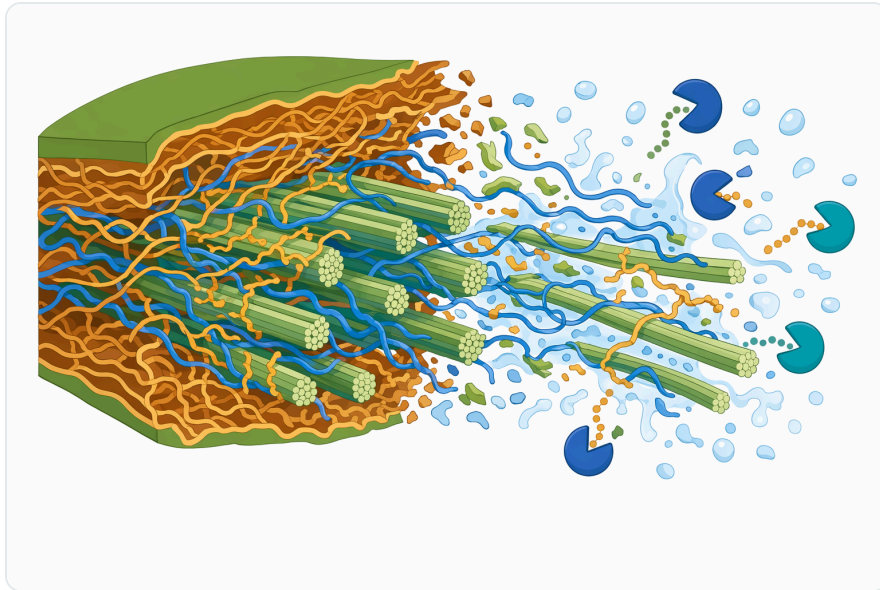


Figure 3. 預處理、水合與物理破碎會增加酸性纖維素酶可接觸到的纖維素位點數量。

玉米不溶性膳食纖維的研究進一步指出，射頻加熱與酵素水解的組合可提升纖維發酵性與短鏈脂肪酸生成潛力。雖然不同食物基質不能直接套用同一效果，但這支持了「加工降低結構阻力、酵素釋放可發酵片段」的基本邏輯 [11]。

飼料、青貯與植物纖維發酵

在飼料與青貯系統中，acid cellulase 的任務通常是協助釋放可供微生物利用的糖類，並降低纖維結構對發酵的限制。Caragana korshinskii 青貯研究顯示，纖維素酶與乳酸菌會影響青貯表現與細菌群落，代表酵素不只是直接降解纖維，也會改變微生物可利用的營養環境 [12]。

桑樹相關青貯研究也指出，纖維素酶處理相較乳酸菌處理，可透過酚類釋放增強抗氧化能力。這反映植物細胞壁水解可能同時釋放與纖維結構結合或被包埋的活性成分，但此類效益會受植物種類、發酵時間與微生物群落影響 [13]。

蘋果渣發酵研究則從另一角度說明，複合益生菌可被評估作為纖維素酶替代方案，用於蘋果渣發酵的動態效果比較。這表示在某些發酵系統中，外加纖維素酶、微生物自產酵素或兩者結合，都可能成為改善纖維轉化的策略 [14]。

生質材料糖化與可發酵糖釋放

對木質纖維素糖化來說，纖維素酶的目標更接近「將預處理後的纖維素轉化為可發酵糖」。GH6 內切葡聚糖酶研究顯示，特定纖維素酶可影響農業秸稈糖化表現，說明酵素類型與底物結構會共同決定糖釋放效率 [15]。

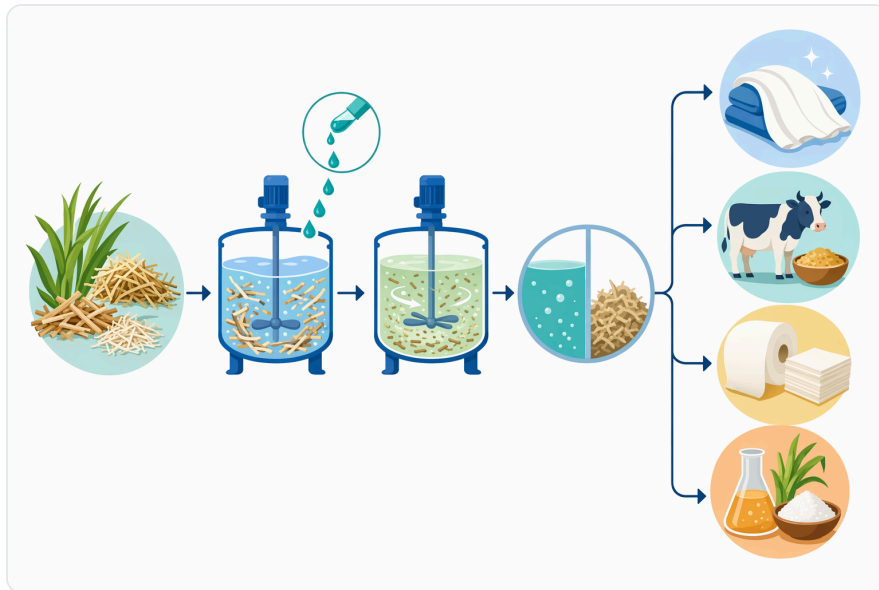


Figure 4. 在生物質轉化中，預處理會打開殘餘物結構，纖維素酶釋放可溶性糖，而下游發酵或催化則將這些糖轉化為生物基產品。

然而，木質纖維素原料通常需要前處理，因為纖維素被木質素與半纖維素包覆，酵素不易進入。降低結晶性與聚合度能提升酵素水解敏感性，這也是許多糖化流程會先進行物理、化學或熱處理的原因 [5]。

在更下游的生物轉化中，糖化產物可被整合進酵素級聯或微生物發酵流程。木質纖維素單糖系統化利用的研究指出，若要高效利用生物質來源糖類，需要考慮不同單糖的轉化路徑，而纖維素酶處理只是釋放糖源的前段步驟之一 [16]。

紙漿、纖維素材料與奈米纖維素前處理

在纖維素材料領域，纖維素酶可用於改變纖維反應性，讓後續酸水解、機械分散或材料功能化更容易進行。纖維素酶處理纖維後再進行酸水解以生成纖維素奈米晶的研究，顯示酵素前處理會影響纖維特性與後續奈米纖維素生成 [17]。

另一項以酵素途徑製備奈米結晶纖維素的研究也支持相同方向：適度纖維素酶處理可作為傳統強酸處理之外的輔助策略，目標是降低纖維結構阻力並改善後續解離效率，但仍必須控制水解程度以避免材料性能受損 [18]。

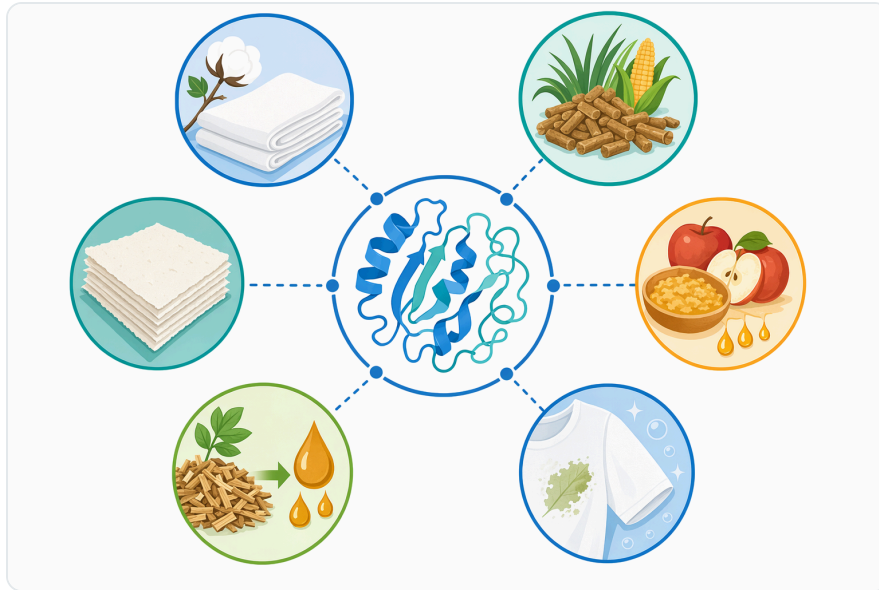


Figure 5. 酸性纖維素酶可用於生物質糖化、植物萃取、膳食纖維改質、飼料加工、紡織品整理，以及紙漿或紙張纖維處理。

在溶解漿應用中，磷鎢酸輔助預精製結合纖維素酶處理，可用於提升牛皮漿基溶解漿反應性。這說明纖維素酶也能被放入紙漿與纖維素衍生材料流程中，作為調整纖維可反應性的一個加工步驟 [19]。

製程設計時最需要理解的變因

第一個變因是底物可接近性。即使原料纖維素含量高，如果纖維素被木質素、半纖維素或果膠封閉，酵素也可能無法有效接觸 β -1,4 鍵；因此粉碎、熱處理、酸處理、高壓處理或其他前處理常會改變纖維素酶的表現 [10]。

第二個變因是原料組成。果皮與果渣通常含較多果膠，秸稈與木本植物含較多木質素與半纖維素，穀物副產物則可能含有澱粉、蛋白質與酚類。若目標是全面打開細胞壁，纖維素酶往往需要與木聚糖酶、果膠酶或其他酵素搭配，而不是單獨承擔所有水解任務 [7]。

第三個變因是反應程度。對糖化製程而言，較深度的水解通常有利於糖釋放；但對膳食纖維、紙漿、紡織或材料應用而言，過度水解可能降低纖維長度、機械強度或加工得率。纖維素酶在材料應用中的價值，往往來自「適度改質」而非完全降解 [17]。

第四個變因是微生物環境。青貯、果渣發酵與飼料發酵並非單純酵素反應，而是酵素、植物基質與微生物群落共同作用；外加纖維素酶可能增加可發酵底物，進而改變乳酸菌、其他細菌與代謝產物的比例 [12]。



Figure 6. 在丹寧布與棉織物整理中，若處理受到控制，酸性纖維素酶主要作用於暴露在表面的細纖維。

證據強度與合理期待

目前最穩固的證據，是纖維素酶可水解纖維素主鏈，並透過降低聚合度、增加鏈端與改變結構可接近性，改善糖釋放或纖維改質效果。從反芻動物瘤胃來源內切葡聚糖酶、土壤宏基因體雙功能酵素，到農業秸稈糖化研究，都支持纖維素酶在植物纖維轉化中的核心角色 [2]。

中等至強的證據則集中在食品副產物與膳食纖維改質。椰子粕、咖啡副產物、馬鈴薯纖維與玉米不溶性纖維研究皆顯示，纖維素酶可與其他加工方式共同改變纖維結構、持水性、發酵性或活性成分釋放；但不同基質的結果差異很大，不能把某一原料的改善幅度直接外推到另一原料 [9]。

在青貯與飼料領域，纖維素酶與乳酸菌或微生物發酵的協同效果具有應用潛力，但結果會受到原料成熟度、含水率、可溶性糖含量、背景菌相與密封管理影響。研究可支持其作為改善纖維利用與發酵品質的工具，但不應將其描述為能單獨保證青貯成功 [13]。

在生質糖化與纖維素材料領域，酸性纖維素酶的合理定位是「使纖維素更容易進入後續轉化」或「輔助釋放可發酵糖」。若原料木質素含量高、結晶度高或未經適當前處理，單靠纖維素酶通常難以達到理想水解效率 [15]。

產品使用定位與供應資訊

對 B2B 使用者而言，Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber 應被理解為可整合進製程的酵素原料，而不是保證特定終產品結果的單一解決方案。它適合用於需要在偏酸性含水環境中打開植物纖維、降低纖維素聚合度、改善萃取或促進後續發酵的製程設計。

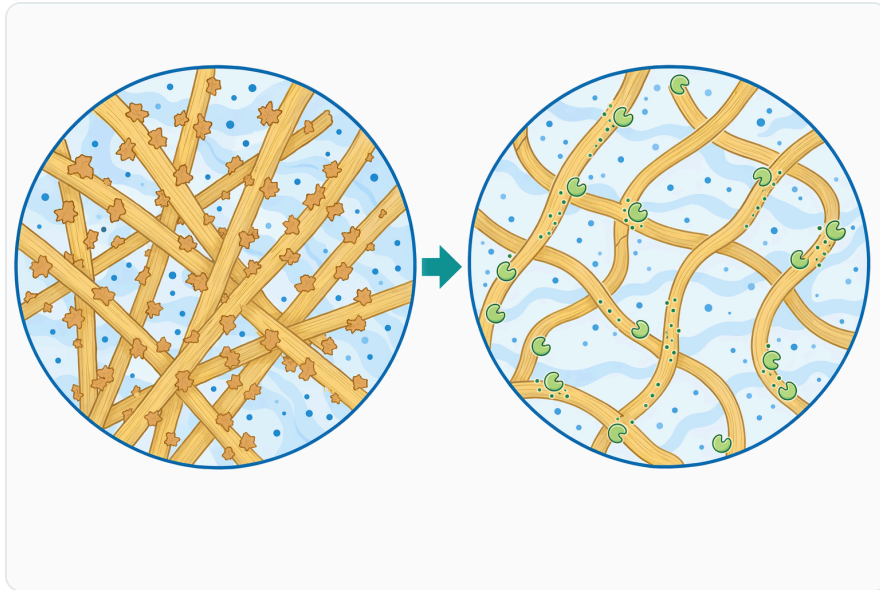


Figure 7. 在紙漿與回收纖維中進行受控的纖維素酶處理，會改變可接觸的纖維表面，而不是將纖維素完全轉化為糖。

Enzymes.bio 是供應商，不是製造商，也不是第三方檢測實驗室；因此，本文不以製造端語氣描述製程保證，也不提供特定活性單位、等級、分析方法或活性定義。產品以 1 kg 單位在線上直接銷售，訂單出貨時會隨附 CoA 與 SDS，方便使用者在自身品質與安全管理流程中建檔。

總結：如何正確理解 Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber ?

Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber 的核心價值，是在酸性或微酸性製程中水解纖維素 β -1,4 鍵，降低植物纖維的結構阻力，協助釋放糖類、改善細胞壁可接近性，並支援食品副產物、飼料青貯、生質糖化與纖維素材料改質等應用 [1]。

它最適合被視為「纖維素結構改質工具」：在食品中可協助膳食纖維與副產物升級，在飼料與青貯中可支援微生物發酵，在生質製程中可促進可發酵糖釋放，在材料領域則可作為纖維反應性調整的前處理步驟 [4]。

合理期待應建立在機制與製程條件上：酸性纖維素酶能有效作用於暴露的纖維素，但不會單獨分解所有木質素、果膠與半纖維素，也不會在所有原料中產生相同結果。當原料前處理、含水狀態、酸鹼環境、反應時間與酵素協同被妥善設計時，它才能充分發揮水解纖維與提升原料利用性的技術價值 [5]。

線上訂購 Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber

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 Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber →](#)

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. Hurst, P., Sullivan, P., & Shepherd, M. (1978). Substrate specificity and mode of action of a cellulase from *Aspergillus niger*. *Biochemical Journal*, 169 2, 389-95 .
2. Song, Y., Lee, K., Baek, J., Min-Kim, Kwon, M., Kim, Y., Park, M., ... et al. (2017). Isolation and characterization of a novel endo- β -1,4-glucanase from a metagenomic library of the black-goat rumen. *Brazilian Journal of Microbiology*, 48, 801 - 808.
3. Zheng, Y., & Li, Y. (2018). Physicochemical and functional properties of coconut (*Cocos nucifera* L) cake dietary fibres: Effects of cellulase hydrolysis, acid treatment and particle size distribution. *Food Chemistry*, 257, 135-142 .
4. Lamothe, L., Cantu-Jungles, T., Chen, T., Green, S., Naqib, A., Srichuwong, S., & Hamaker, B. (2021). Boosting the value of insoluble dietary fiber to increase gut fermentability through food processing. *Food & Function*.
5. Thielemans, K., Bondt, Y. D., Comer, L., Raes, J., Everaert, N., Sels, B., & Courtin, C. (2023). Decreasing the Crystallinity and Degree of Polymerization of Cellulose Increases Its Susceptibility to Enzymatic Hydrolysis and Fermentation by Colon Microbiota. *Foods*, 12.
6. Li, X., & Yu, H. (2012). Purification and characterization of an organic-solvent-tolerant cellulase from a halotolerant isolate, *Bacillus sp.* L1. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 39, 1117-1124.
7. Chai, S., Zhang, X., Jia, Z., Xu, X., Zhang, Y., Wang, S., & Feng, Z. (2020). Identification and characterization of a novel bifunctional cellulase/hemicellulase from a soil metagenomic library. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104, 7563 - 7572.
8. Cooper, V., & Salmond, G. (1993). Molecular analysis of the major cellulase (CelV) of *Erwinia carotovora*: evidence for an evolutionary "mix-and-match" of enzyme domains. *Molecular and General Genetics MGG*, 241, 341-350.
9. Belmiro, R. H., Oliveira, L. C., Geraldi, M. V., Júnior, M. M., & Cristianini, M. (2021). Modification of coffee coproducts by-products by dynamic high pressure, acetylation and hydrolysis by cellulase: A potential functional and sustainable food ingredient. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 68, 102608.

10. Ma, M., Waliullah, M., Sun, H., & Mu, T. (2025). Chemical components, structural, physicochemical and functional properties of potato (*Solanum tuberosum*) dietary fiber modified by high hydrostatic pressure and cellulase. *International Journal of Biological Macromolecules*, 149343 .
11. Igwe, V., Smith, D., Mensah, C., & Swackhamer, C. (2025). Synergistic Enhancement of Corn Insoluble Dietary Fiber via Combined Radiofrequency Heating and Enzymatic Hydrolysis: Fermentability and Short-Chain Fatty Acid (SCFA) Production. *Journal of Food Science*, 90.
12. Bai, B., Qiu, R., Wang, Z., Liu, Y., Bao, J., Sun, L., Liu, T., ... et al. (2023). Effects of Cellulase and Lactic Acid Bacteria on Ensiling Performance and Bacterial Community of *Caragana korshinskii* Silage. *Microorganisms*, 11.
13. Guo, Y., Peng, H., Wang, H., Li, S., Zhao, J., & Zhang, W. (2025). Cellulase over lactic acid bacteria in enhancing antioxidant capacity of mulberry silage via phenolic release. *Frontiers in Microbiology*, 16.
14. Wang, Z., Tang, H., Li, Y., Tian, L., Ye, B., Yan, W., Liu, G., ... et al. (2024). Evaluating the dynamic effects of complex probiotics as cellulase replacements during fermentation of apple pomace. *Journal of food microbiology*, 425, 110896 .
15. Huang, Z., Ni, G., Dai, L., Zhang, W., Feng, S., & Wang, F. (2023). Biochemical Characterization of Novel GH6 Endoglucanase from *Myxococcus* sp. B6-1 and Its Effects on Agricultural Straws Saccharification. *Foods*, 12.
16. Tang, H., Chen, Z., Shao, Y., Ju, X., & Li, L. (2022). Development of an enzymatic cascade to systematically utilize lignocellulosic monosaccharide. *The Journal of the Science of Food and Agriculture*.
17. Beyene, D., Chae, M., Dai, J., Danumah, C., Tosto, F., Demesa, A. G., & Bressler, D. (2018). Characterization of Cellulase-Treated Fibers and Resulting Cellulose Nanocrystals Generated through Acid Hydrolysis. *Materials*, 11.
18. Beltramino, F., Roncero, M. B., Vidal, T., & Valls, C. (2018). A novel enzymatic approach to nanocrystalline cellulose preparation. *Carbohydrate Polymers*, 189, 39-47 .
19. Qin, X., Duan, C., Feng, X., Zhang, Y., Dai, L., Xu, Y., & Ni, Y. (2020). Integrating phosphotungstic acid-assisted prerefining with cellulase treatment for enhancing the reactivity of kraft-based dissolving pulp. *Bioresource Technology*, 320 Pt A, 124283 .


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

