

# Acid Cellulase For Tobacco Processing：用於菸草加工的酸性纖維素酶技術說明

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

Acid Cellulase For Tobacco Processing 是一種用於菸草基材處理的酸性纖維素酶產品，主要應用在菸葉、菸梗、菸莖、細粉與再製纖維系統的調理、軟化、滲透改善與發酵前處理。其核心作用不是把纖維完全糖化，而是在酸性或微酸性加工條件下，對植物細胞壁中的纖維素進行有限度水解，使材料更容易吸水、分散、切割或被微生物利用。

Enzymes.bio 以 1 kg 單位在線上銷售此產品，CoA 與 SDS 會隨訂單提供，供收貨、品質與安全文件使用。

## 酵素名稱與主要應用

**酵素名稱：** Acid Cellulase For Tobacco Processing

**中文名稱：** 用於菸草加工的酸性纖維素酶

**主要應用：** 菸草原料調理、菸梗與中肋軟化、菸草細粉或再製纖維分散、液體滲透改善、發酵或微生物處理前的纖維可及性提升。

在菸草加工中，纖維素不是單獨存在的可溶性成分，而是以微纖維形式嵌入細胞壁網絡，並與半纖維素、果膠、木質素與酚酸類交聯結構共同影響材料剛性、吸水速度與機械加工表現。纖維素酶的價值在於以溫和方式改變這個網絡的局部結構，讓原料在水化、切絲、混合、再製或發酵步驟中表現得更一致，而不必完全依賴強機械剪切或較激烈的化學處理<sup>[1]</sup>。

## 為什麼菸草加工會考慮酸性纖維素酶

菸葉與菸梗的加工問題，常表現為水分進入不均、硬質部位難以軟化、切割後粉屑偏多、再製纖維分散不良，或發酵時可利用碳源釋放不足。這些問題都與植物細胞壁的緻密程度有關；尤其是莖、梗與中肋部位，纖維含量與結構強度通常高於葉片柔軟部位，因此同一批原料在調濕與加工時可能出現「外層已濕、內部仍硬」的狀態。

酸性纖維素酶適合被放在既有的濕潤、調理、浸潤、低強度混合或發酵前處理步驟中，作為加工助劑使用。選擇酸性版本的重點，在於許多菸草調理液、發酵前環境或含有有機酸與植物萃取物的配方可能落在酸性或微酸性條件；若酵素在此類環境下仍能維持功能，就能降低為了酵素而大幅調整製程條

件的需求。

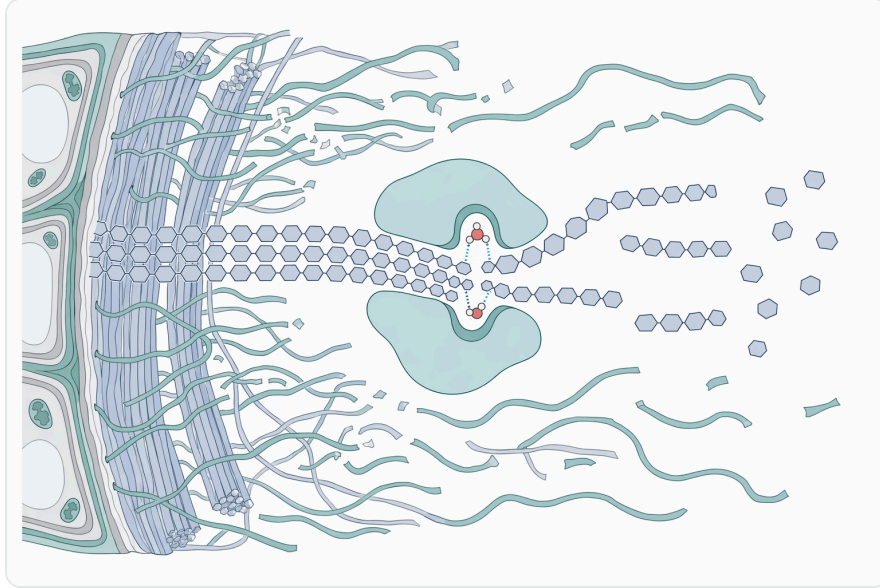


Figure 1. 酸性纖維素酶會切割易接觸菸草纖維素中的  $\beta$ -1,4 鍵，在不需要完全消化纖維的情況下削弱微纖維。

## 作用機制：有限度打開細胞壁，而非完全分解菸草纖維

纖維素酶通常指一組能水解  $\beta$ -1,4-葡聚糖鍵的酵素系統。從機制上看，內切型纖維素酶可在纖維素鏈內部產生切點，使長鏈聚合物變短、局部結構鬆動；外切型酵素則可由鏈端逐步釋放較小片段； $\beta$ -葡萄糖苷酶可進一步處理部分寡糖。實際工業應用中，配方不一定追求完整糖化，而是利用局部水解降低纖維網絡的緊密性，改善水分與添加液進入材料的能力<sup>[1]</sup>。

在菸草基材中，這種有限度水解可帶來三個直接變化。第一，細胞壁局部孔隙與表面可及性增加，使水分與調理液更容易滲入；第二，纖維束之間的結合力下降，機械切割或分散時所需阻力可能降低；第三，部分纖維素鏈被切短後，微生物或其他酵素更容易接觸底物，對發酵前處理或殘渣再利用尤其有意義。這些效果屬於材料結構調整，不應被解讀為能單獨決定最終香氣、感官或燃燒特性。

## 菸草細胞壁中的「協同」問題

植物細胞壁不是單一纖維素材料。纖維素微纖維周圍常有半纖維素包覆，外層還可能受到果膠、木質素與酚酸交聯影響，因此單用纖維素酶時，作用深度會受到其他壁組分阻礙。工業生物技術文獻指出，纖維素酶與木聚糖酶等半纖維素分解酵素之間常具有協同效應，原因是半纖維素被部分移除後，纖維素表面暴露增加，纖維素酶更容易接觸其底物<sup>[2]</sup>。

這一點與菸草加工特別相關。菸梗、莖部與再製纖維常不是單純纖維素，而是含有複合多醣與酚類交聯的植物組織。2023 年一項以菸草為基材的研究，使用阿魏酸酯酶與纖維素酶整合系統，探討以較少毒性化學處理來分離菸草纖維素奈米纖維，顯示在菸草這類複合細胞壁材料中，打開酚酸交聯與水解纖維素結構可共同提升纖維分離效率<sup>[3]</sup>。

## 可介入的加工場景

### 菸葉與菸梗的調理、軟化與切割前處理

在切絲、切片或混合前，菸葉與菸梗通常需要適當水化與柔軟化。若纖維結構過於緊密，水分容易停留在表面，造成局部過濕與內部偏硬並存；後續切割時，硬質部位可能造成破碎、粉屑增加或切型不均。酸性纖維素酶可在調理階段部分鬆動細胞壁，使水分進入更均勻，並降低硬質組織的機械抵抗。

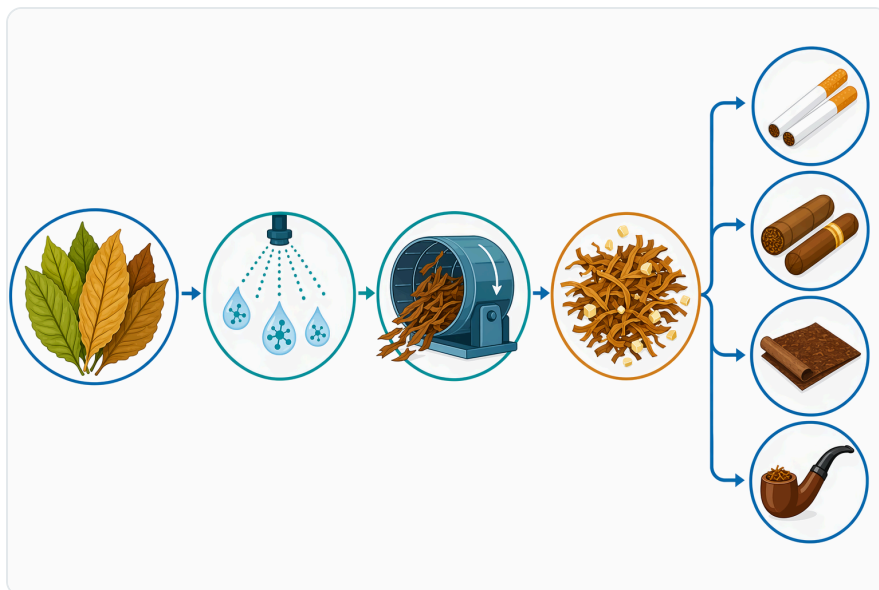


Figure 2. 纖維素的部分水解可使含水纖維更柔軟、提高液體滲透性，並改善萃取或發酵的可及性。

這類應用的目標不是把菸草變成可溶性糖漿，而是在不破壞整體加工形態的前提下，改善材料的柔韌性與可操作性。因此，酵素處理通常被視為「前端調理工具」：它改變纖維微結構，後續仍需依靠既有的水分控制、混合、切割與乾燥條件來形成最終產品特性。

### 再製菸草與細粉分散

再製菸草或含細粉的纖維系統，需要固體顆粒、纖維、膠體或調理液形成均勻分散。若纖維束過度聚集，會影響漿料流動、片材均一性與液體吸附。酸性纖維素酶可透過局部削弱纖維束表面結構，協助分散與浸潤，使液相更容易接觸到纖維內部。

以菸草纖維素奈米纖維分離研究為例，纖維素酶與相關輔助酵素可用於降低傳統化學分離壓力，說明酵素對菸草纖維結構具有可觀察的改質能力。雖然奈米纖維分離與一般菸草加工不是同一製程，但它提供了一個關鍵證據：菸草基材中的細胞壁網絡確實可被酵素系統選擇性鬆動與重組<sup>[3]</sup>。

### 發酵或微生物處理前的底物可及性提升

若某些菸草加工流程包含微生物發酵、陳化輔助或殘渣生物轉化，纖維素酶可作為前處理工具，提高多醣底物的可接觸性。纖維素被局部水解後，可能釋放寡糖或增加細胞壁孔隙，讓微生物更容易進入植物組織並利用可發酵碳源。



Figure 3. 酸性、中性與鹼性纖維素酶，是依其活性與相容性最適合發揮作用的製程 pH 環境加以區分。

類似植物基材的研究可提供參考。例如青貯研究中，纖維素酶與乳酸菌共同使用會影響發酵表現與細菌群落，反映細胞壁水解與微生物代謝之間存在互動關係<sup>[4]</sup>。這並不同於保證菸草發酵必然產生特定香氣結果，但支持一個合理的技術邏輯：在植物纖維較難被微生物接觸時，纖維素酶前處理可改善發酵底物條件。

### 菸草加工殘渣與價值化處理

菸草加工會產生細粉、梗末、萃取後殘渣或其他低價纖維副產物。2019 年研究探討以萃取多酚與尼古丁後的廢菸草殘渣作為纖維素酶生產相關基材，顯示這類殘渣仍具有可被微生物與酵素系統利用的木質纖維素特徵<sup>[5]</sup>。對加工端而言，這代表菸草殘渣不只是惰性廢料，而是可透過生物處理改變物性與後續利用性的纖維原料。

酸性纖維素酶在此類場景中可用於提高萃取前處理效率、改善漿料分散、輔助生物轉化，或降低後續處理所需的機械強度。若目標是殘渣再利用，酵素處理的價值通常體現在均質化、可泵送性、固液接觸效率與下游轉化便利性，而不是單一成分的完全移除。

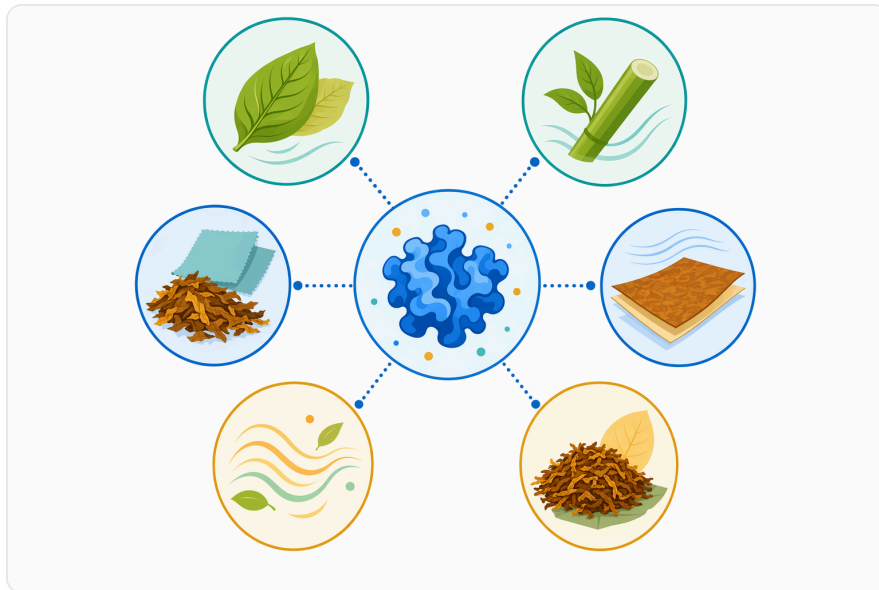
## 比較：酸性纖維素酶處理與其他菸草纖維調理方式

處理方式	主要作用	優點	限制	適合搭配的菸草加工場景
酸性纖維素酶	局部水解纖維素β-1,4鍵，鬆動細胞壁	條件溫和、可與酸性或微酸性調理流程整合、能改善水化與分散	效果受原料、含水、溫度、接觸時間與配方相容性影響	調理、菸梗軟化、再製纖維分散、發酵前處理
純機械處理	透過切割、研磨、擠壓破壞纖維	反應快速、設備流程明確	能耗與粉屑可能增加，對內部水化改善有限	切絲、粉碎、漿料製備
熱水或蒸汽調理	以熱與水分軟化組織	容易整合至既有生產線	對緻密纖維的選擇性有限，過度處理可能影響材料形態	葉片回潮、梗絲預處理
化學調理	以酸、鹼或其他化學品改變細胞壁	作用強、速度可控	可能增加中和、殘留、腐蝕與廢液管理負擔	特殊萃取、纖維分離、殘渣處理
複合酵素處理	纖維素酶搭配木聚糖酶、果膠酶或酯酶	可同時打開多種細胞壁屏障，協同效果較佳	配方相容性與製程控制較複雜	再製纖維、殘渣轉化、深度軟化

這張比較表的重點是：酸性纖維素酶不是用來取代所有機械或熱調理，而是用較具選擇性的方式先改變細胞壁，使後續物理處理更容易發揮效果。纖維素酶與半纖維素酶協同的工業研究也指出，複合植物基材常需要不只一種酵素活性才能有效提高底物可及性<sup>[2]</sup>。

## 證據強度：哪些部分已有穩固基礎，哪些仍需製程驗證

纖維素酶水解纖維素的基本機制已有充分生化基礎，包含酵素結構、催化區域、底物結合與內切/外切反應模式等。以植物殘體、葉片、農業副產物與木質纖維素材料為基材的研究也一致顯示，纖維素酶可提高細胞壁降解、萃取或生物轉化效率<sup>[6]</sup>。



**Figure 4.** 酸性纖維素酶可應用於菸葉、菸梗、細末、再造纖維系統、萃取液流，以及在纖維素可及性限制加工時的殘渣高值化利用。

菸草專屬應用的公開研究則相對較少，但並非沒有相關證據。菸草纖維素奈米纖維的酵素輔助分離研究、廢菸草殘渣作為纖維素酶相關生物製程基材的研究，以及植物發酵中纖維素酶與乳酸菌協同的研究，共同支持「菸草纖維可被酵素改質」與「酵素前處理可改善植物基材可及性」這兩個核心判斷 [3]。

需要謹慎的是，從細胞壁鬆動到最終感官品質之間，仍有許多中間變數。菸草品種、成熟度、烘烤或晾曬歷史、陳化條件、含水率、調味配方、微生物組成與後續熱處理，都會影響最終結果。因此，酸性纖維素酶在科學上是合理的加工工具，但不是保證風味、香氣或品質等級的單一決定因子。

## 對液體滲透、萃取與可溶性成分釋放的意義

在植物原料萃取領域，酵素輔助萃取常被用來打開細胞壁，提高目標成分從組織中釋放的效率。以虎杖中白藜蘆醇苷與白藜蘆醇轉化研究為例，耐熱纖維素酶與固定化  $\beta$ -葡萄糖苷酶的組合被用於提高萃取與轉化效率，說明纖維素酶可透過改善細胞壁通透性來支援植物成分釋放 [7]。

套用到菸草加工時，這個原理可對應到調理液滲透、萃取液接觸、香料或功能液分布，以及再製纖維漿料的均質化。需注意的是，不同植物的目標成分不同，不能直接把其他植物的萃取率數據轉換成菸草結果；但「細胞壁鬆動可改善液固接觸」這個機制具有跨植物基材的合理性。

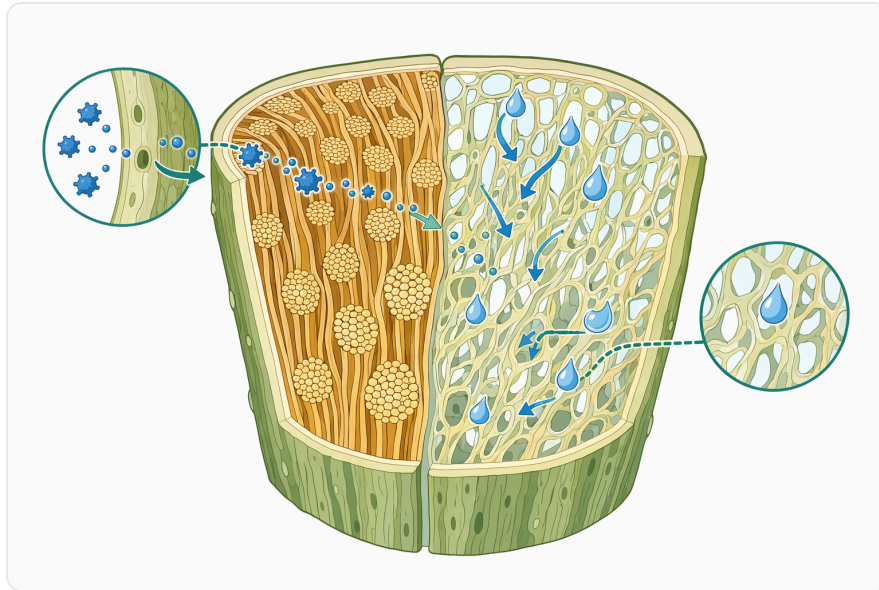


Figure 5. 菸梗與中肋屬於纖維性菸草部位，透過纖維素酶促進細胞壁鬆解，可降低僵硬度並改善濕態處理性。

## 與發酵、微生物與風味前驅物的關係

菸草發酵或陳化涉及多種化學與生物變化，包括糖、胺基酸、有機酸、多酚與揮發性成分的轉化。纖維素酶本身不直接生成特定香氣分子，但它可能改變微生物可接觸的底物環境，進而間接影響發酵動態。植物基材研究中，纖維素酶與微生物聯用常被用來提高細胞壁降解與可發酵糖釋放，這是其被納入發酵前處理的主要理由<sup>[4]</sup>。

在菸草情境中，這種間接作用必須被保守解讀。若原料本身缺乏適合的微生物條件，或發酵流程受到溫度、水分、氧氣與抑菌成分限制，單靠纖維素酶未必能明顯改變發酵結果。相反地，若流程中已有穩定微生物管理，酸性纖維素酶可能有助於提高纖維底物可及性，使發酵批次表現更容易控制。

## 使用與製程整合的實務考量

酸性纖維素酶通常適合安排在有水分存在、材料可充分接觸、且後續仍有靜置或混合時間的步驟。常見整合點包括菸葉回潮、菸梗預軟化、再製纖維製漿、細粉分散、發酵前濕潤或殘渣生物處理。由於酵素是蛋白質，其表現會受到溫度、酸鹼環境、接觸時間、水分分布與配方中其他化學物質影響<sup>[6]</sup>。

在導入上，較合理的做法是把酸性纖維素酶視為製程變因之一，與含水率、混合強度、熱處理條件與停留時間一起調整。可觀察的製程指標包括原料柔軟度、切割穩定性、粉屑生成、液體吸收均勻性、漿料分散性、發酵期間的酸化趨勢與批次一致性。這些指標屬於工廠內部製程管理範圍，不需要把酵素本身當成唯一品質來源。

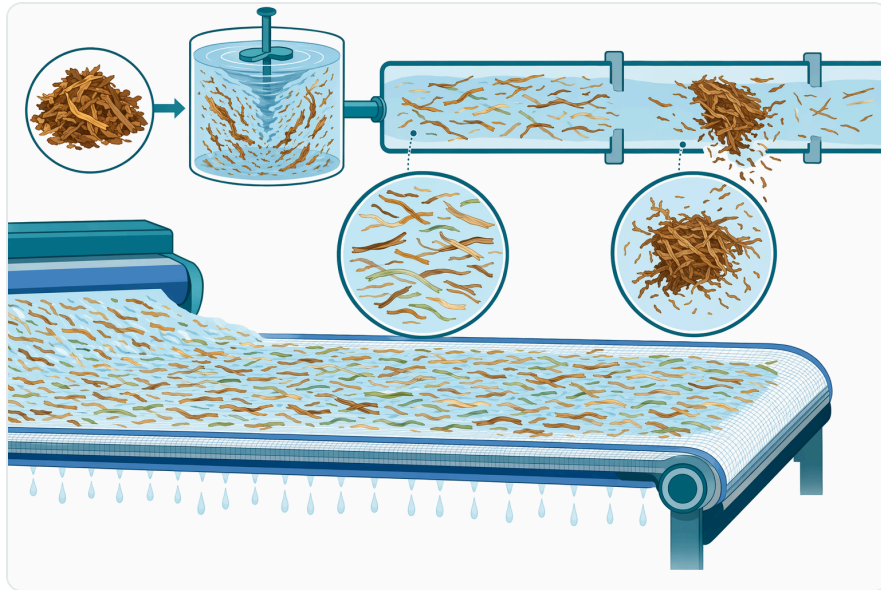


Figure 6. 在再造菸草系統中，纖維素酶處理必須在改善纖維開放性與維持成片完整性之間取得平衡。

## 成本與效率：為什麼「部分水解」通常比「完全水解」更符合菸草加工

在纖維素乙醇等工業場景中，纖維素酶成本一直是整體製程經濟性的重要因素，因此研究經常強調酵素使用量、底物可及性與反應效率之間的平衡<sup>[8]</sup>。雖然菸草加工不是乙醇製程，但同樣適用一個基本原則：若製程目標只是軟化、滲透或分散，通常不需要追求最大程度糖化。

對菸草加工而言，過度水解可能反而帶來不利影響，例如材料結構過度弱化、黏性增加、細粉比例上升，或後續乾燥與成形表現改變。因此，酸性纖維素酶的應用重點在於「剛好足夠」的細胞壁鬆動：讓材料更容易處理，但保留加工所需的纖維骨架與形態。

## 文件、安全與供應方式

Enzymes.bio 不是製造商，也不是實驗室，而是提供線上銷售與供應資訊的平台；此產品以 1 kg 單位販售，CoA 與 SDS 會隨訂單提供，方便客戶進行收貨記錄、內部品質文件建檔與安全管理。在工廠端，酵素粉體或酵素製劑應依 SDS 管理，特別注意避免吸入粉塵或霧滴，並依既有原料與化學品管理程序存放與使用。

CoA 可作為批次接收與文件歸檔依據，SDS 則提供搬運、儲存、暴露防護與意外處置資訊。由於不同廠區對菸草加工助劑、職業安全與產品合規有不同要求，實際使用仍需納入企業自己的法規、品質與變更管理流程。

## 限制與風險：避免把酵素效果過度簡化

酸性纖維素酶能改變纖維微結構，但不等於能自動改善所有菸草品質問題。若原料本身成熟度不均、乾燥歷史差異大、含水率控制不穩，或後續熱處理條件波動，酵素效果也可能被其他變因掩蓋。這是植物基材加工的共通限制，而不是單一產品能完全克服的問題。

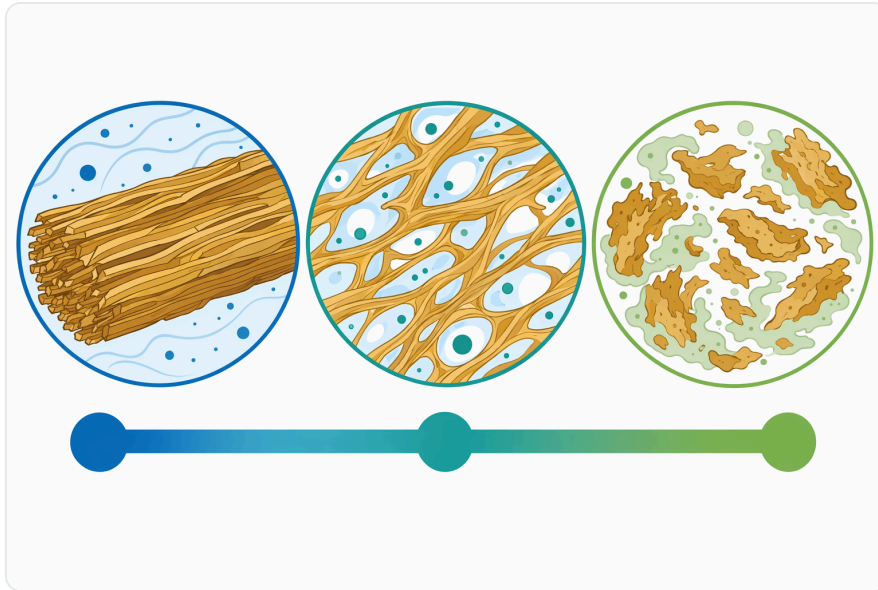


Figure 7. 有用的加工窗口在於部分水解：既能改善可及性，又能保留足夠的菸草纖維結構以利處理。

此外，菸草中存在多酚、酚酸與其他小分子成分，這些物質可能影響微生物生長、氧化反應與感官前驅物變化。近年研究也指出，香豆酸等酚酸在菸草連作障礙中具有重要作用，顯示菸草系統中的酚類化學相當活躍<sup>[9]</sup>。雖然這項研究聚焦農業土壤與連作問題，不是加工製程，但它提醒加工端不應只把菸草視為纖維素基材，而應理解其化學背景較複雜。

## 結論：酸性纖維素酶是菸草纖維調理工具，而非萬用添加劑

Acid Cellulase For Tobacco Processing 的技術定位，是在酸性或微酸性條件下，對菸草植物細胞壁進行有限度纖維素水解，以改善水化、軟化、液體滲透、再製纖維分散與發酵前底物可及性。其機制有明確的纖維素酶生化基礎，並受到植物纖維加工、菸草纖維分離與農業副產物生物處理研究的支持<sup>[3]</sup>。

實務上，這類酵素最適合作為既有菸草加工流程中的輔助工具，而不是單獨決定最終品質的配方核心。對於菸梗軟化、再製纖維、細粉利用與發酵前處理等場景，酸性纖維素酶可提供一種比強機械或強化學處理更溫和、選擇性更高的纖維調理途徑。Enzymes.bio 以 1 kg 單位供應，並隨訂單提供 CoA 與 SDS，適合需要建立內部收貨與安全文件的 B2B 使用者。

## 線上訂購 Acid Cellulase For Tobacco Processing

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 For Tobacco Processing →](#)

## 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. Linton, S. M. (2020). Invited review: The structure and function of cellulase (endo- $\beta$ -1,4-glucanase) and hemicellulase ( $\beta$ -1,3-glucanase and endo- $\beta$ -1,4-mannase) enzymes in invertebrates that consume materials ranging from microbes, algae to leaf litter. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B Comparative Biochemistry*, 110354 .
2. Bajaj, P., & Mahajan, R. (2019). Cellulase and xylanase synergism in industrial biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 8711 - 8724.
3. Zhao, M., An, X., Fan, Z., Nie, S., Cheng, Z., Cao, H., Zhang, X., ... et al. (2023). A feruloyl esterase/cellulase integrated biological system for high-efficiency and toxic-chemical free isolation of tobacco based cellulose nanofibers. *Carbohydrate Polymers*, 313, 120885 .
4. 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.
5. Buntić, A., Stajković-Srbinić, O., Delić, D., Dimitrijević-Branković, S., & Milić, M. (2019). The production of cellulase from the waste tobacco residues remaining after polyphenols and nicotine extraction and bacterial pre-treatment. *Journal of the Serbian Chemical Society*.
6. Xu, C., Tong, S., Sun, L., & Gu, X. (2023). Cellulase immobilization to enhance enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass: An all-inclusive review. *Carbohydrate Polymers*, 321, 121319 .
7. Wang, C., Liu, X., Zhang, M., Shao, H., Zhang, M., Wang, X., Wang, Q., ... et al. (2019). Efficient Enzyme-Assisted Extraction and Conversion of Polydatin to Resveratrol From Polygonum cuspidatum Using Thermostable Cellulase and Immobilized  $\beta$ -Glucosidase. *Frontiers in Microbiology*, 10.
8. Liu, G., Zhang, J., & Bao, J. (2015). Cost evaluation of cellulase enzyme for industrial-scale cellulosic ethanol production based on rigorous Aspen Plus modeling. *Bioprocess and biosystems engineering (Print)*, 39, 133-140.
9. Jia, M., Wang, X., Zhu, X., Du, Y., Zhou, P., Wang, G., Wang, N., ... et al. (2024). Accumulation of coumaric acid is a key factor in tobacco continuous cropping obstacles. *Frontiers in Plant Science*, 15.


## 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。