

# Hemicellulase (半纖維素酵素) — 用於木質纖維素水解、食品副產物轉化與木聚醣寡糖製備的 hemicellulase enzyme

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

Hemicellulase (半纖維素酵素；常見搜尋為「hemicellulase中文」) 不是單一酵素，而是一組可分解植物細胞壁半纖維素的酵素系統，核心功能是把木聚醣、甘露聚醣與其側鏈結構切割成寡糖或可發酵糖。

在 B2B 應用中，hemicellulase enzyme 最常被用於木質纖維素糖化、生物煉製、食品副產物生物轉化，以及以木聚醣為原料製備 xylooligosaccharides (XOS，木寡糖) 等流程。

其效果高度取決於原料組成、前處理方式、木質素阻礙程度與是否搭配 cellulase 或其他輔助酵素；因此它更適合被理解為「降低植物細胞壁結構阻力的酵素工具」，而非單一萬用添加物。<sup>[1]</sup>

## Hemicellulase 是什麼：半纖維素不是一種固定底物

半纖維素 (hemicellulose) 是植物細胞壁中與纖維素、木質素共同存在的異質性多醣。與纖維素主要由  $\beta$ -1,4-葡萄糖鏈構成不同，半纖維素的組成會依植物種類與部位改變；硬木與農業殘渣常以 xylan (木聚醣) 為重要成分，軟木則常含較多 glucomannan 或 galactoglucomannan。這種差異使 hemicellulase 必須以「酵素群」形式運作，而不是只靠一種催化功能完成水解。<sup>[2]</sup>

從實務角度看，hemicellulase 通常涵蓋 endo- $\beta$ -1,4-xylanase、 $\beta$ -xylosidase、 $\alpha$ -L-arabinofuranosidase、 $\alpha$ -glucuronidase、acetyl xylan esterase、feruloyl esterase、mannanase 與 galactanase 等功能。內切酵素負責打斷主鏈，外切或末端酵素釋放較小糖單元，去側鏈酵素與酯酶則移除阻礙主鏈接近性的取代基。文獻對 xylan 酵素水解機制的整理指出，木聚醣主鏈、阿拉伯糖側鏈、葡醛酸取代與乙醯化都會改變水解路徑與產物分布。<sup>[3]</sup>

對企業讀者而言，hemicellulase 中文可理解為「半纖維素分解酵素」，但這個譯名容易讓人誤以為它只分解一種物質。較精確的說法是：hemicellulase 是針對半纖維素網絡中不同鍵結、側鏈與修飾基的酵素組合；它的價值在於拆解植物細胞壁中非纖維素的多醣屏障，使糖化、萃取、發酵或食品轉化流程更容易進行。<sup>[1]</sup>

## 作用機制：從「打開細胞壁」到「控制產物型態」

### 主鏈切割：降低聚合度並增加可及性

在以 xylan 為主的半纖維素中，endo-xylanase 會在木聚糖主鏈內部切割  $\beta$ -1,4 鍵，使高分子量木聚糖變成較短的 xylooligosaccharides 或更小的寡糖。這一步不一定直接產生大量單糖，但會迅速降低黏度、提高可溶性，並增加後續  $\beta$ -xylosidase 或其他酵素接觸底物的機會。Moreira 對 xylan 水解機制的回顧指出，內切位置與底物取代程度會影響寡糖長度、反應速率與後續糖化表現。<sup>[3]</sup>

$\beta$ -xylosidase 則會從較短の木寡糖末端釋放 xylose，協助完成從寡糖到單糖的轉換。若流程目標是生物乙醇或其他以糖為碳源的發酵， $\beta$ -xylosidase 可降低寡糖累積造成的限制；若目標是製備 XOS，則可能更重視受控水解，使產物保留在特定寡糖範圍，而不是完全水解成木糖。XOS 的食品應用研究也強調，酵素水解條件與酵素專一性會影響寡糖組成，進而影響其功能性與產品定位。<sup>[4]</sup>

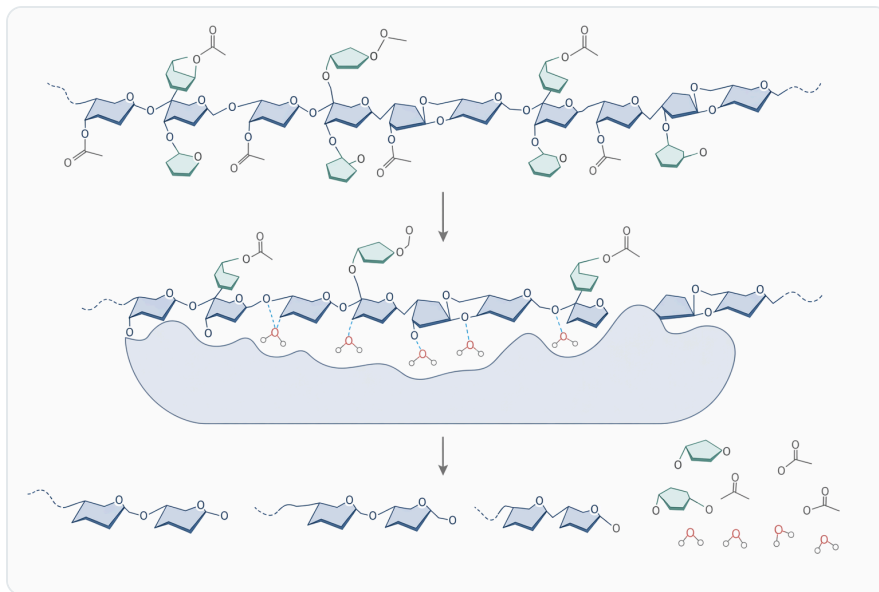


Figure 1. 半纖維素酶作用於包圍纖維素纖維、並與富含木質素的植物細胞壁區域相互作用的分支半纖維素基質。

### 去側鏈與去酯化：解除 xylanase 的空間障礙

天然半纖維素很少是「乾淨的直鏈」。例如 arabinoxylan 上的阿拉伯糖側鏈、glucuronoxylan 上的葡醛酸取代，以及乙醯基或阿魏酸酯鍵，都可能阻礙 xylanase 接近主鏈。 $\alpha$ -L-arabinofuranosidase 可移除阿拉伯糖側鏈， $\alpha$ -glucuronidase 可處理葡醛酸取代，而 acetyl xylan esterase 與 feruloyl esterase 則可降低乙醯化或酚酸交聯造成的結構障礙。這些輔助酵素不一定是產糖量最高的成分，卻常是改善整體水解深度與一致性的關鍵。<sup>[3]</sup>

木質纖維素原料中的半纖維素也會與木質素產生物理包覆或化學交聯，使 cellulase 與 hemicellulase 都難以有效接觸多醣。木質素不只造成空間阻隔，也可能與酵素發生非生產性吸附，降低有效酵素利用率；相關研究指出，改變木質素結構或降低木質素對酵素的吸附，是提升木質纖維素酵素水解的重要策略之一。<sup>[5]</sup>

## 與 cellulase 的協同：半纖維素移除可改善纖維素糖化

在生物質糖化中，hemicellulase 與 cellulase 的關係不是簡單相加。半纖維素常包覆或填充在纖維素微纖維周圍；當 hemicellulase 去除部分 xylan 或 mannan，纖維素表面可及性增加，cellulase 更容易作用於 cellulose。相反地，若半纖維素與木質素仍形成緊密屏障，即使用了 cellulase，也可能因可及性不足而表現受限。木質纖維素酵素降解回顧普遍將半纖維素酵素視為提升整體糖化效率的必要輔助系統。<sup>[1]</sup>

這也是為什麼前處理技術在第二代生物乙醇與生物煉製流程中如此重要。蒸汽爆破、稀酸、鹼處理、有機溶劑法或亞硫酸鹽相關處理會以不同方式改變半纖維素、木質素與纖維素的相對可及性；後續 hemicellulase 的表現取決於前處理後底物是否仍保留可水解半纖維素，以及是否產生抑制酵素或發酵的副產物。生物乙醇前處理回顧指出，前處理的目的並非單純「破壞原料」，而是提高酵素水解效率與整體製程經濟性。<sup>[6]</sup>

## 主要應用一：木質纖維素糖化與第二代生物乙醇

Hemicellulase 在 lignocellulosic biomass (木質纖維素生物質) 流程中最核心的角色，是把半纖維素轉化為可利用的寡糖或單糖，並降低半纖維素對 cellulase 的屏障效果。以農業殘渣、硬木、軟木或草本原料為例，若流程只聚焦纖維素葡萄糖，可能低估五碳糖與半纖維素去除對總碳利用率的影響；若能同步處理 xylan 或 mannan，原料利用率與下游發酵設計會更完整。<sup>[7]</sup>



**Figure 2.** 纖維素酶以纖維素為作用目標，而半纖維素酶則作用於木聚醣、阿拉伯木聚醣、甘露聚醣和葡甘露聚醣等異質性基質多醣。

不過，軟木是較具挑戰性的底物，因其木質素含量、半纖維素型態與結構緊密度會限制酵素可及性。有機溶劑法處理軟木的回顧指出，即使前處理可改善纖維素水解，仍需考量木質素重新沉積、半纖維素溶出與酵素吸附等因素；因此 hemicellulase 在此類流程中常與前處理條件、cellulase 組合及木質素管理策略共同評估。<sup>[2]</sup>

針對松木等針葉材，前處理研究同樣顯示，單靠酵素往往不足以克服天然結構阻力。酸、鹼、蒸汽爆破或其他方法會改變 hemicellulose 的保留量與可及性；若前處理過度，半纖維素可能已被降解或轉化為抑制物，若前處理不足，hemicellulase 又難以進入細胞壁。這種平衡是生物煉製流程優化的關鍵，而不是單純增加酵素即可解決。<sup>[8]</sup>

## 主要應用二：XOS 木寡糖與食品機能素材

XOS ( xylooligosaccharides，木寡糖 ) 是由 xylan 受控水解產生的低聚糖，近年受到食品產業關注，原因是其可作為具潛力的機能性低聚糖素材。Hemicellulase 在此應用中的任務不是把 xylan 完全分解成 xylose，而是透過選擇性水解控制寡糖鏈長與取代型態。相關綜述指出，XOS 的製備可透過酵素水解 xylan 達成，並且其食品應用價值與產物結構、純化程度及原料來源密切相關。<sup>[4]</sup>

與化學水解相比，酵素法通常更有機會在較溫和條件下控制產物分布，減少過度降解與副產物生成。這對食品配方很重要，因為 XOS 的甜味、溶解性、熱穩定性、腸道菌利用性與產品標示策略，都可能受到聚合度與雜質組成影響。對食品研發或原料開發端而言，hemicellulase enzyme 的價值在於「可調控」，而不只是「可分解」。<sup>[4]</sup>

食品副產物轉化也是值得注意的應用。以 okara ( 豆渣 ) 為例，研究顯示 cellulase、hemicellulase 與微生物轉化結合，可改善豆渣中可利用成分與健康相關指標；這類研究反映出 hemicellulase 可協助將植物加工副產物從低價纖維殘渣轉變為更具機能或配方價值的素材。對食品與營養應用而言，這種「副產物升級」比單純追求糖化率更接近商業價值。<sup>[9]</sup>

### 主要應用三：生物煉製、工業生物技術與原料前處理輔助

在生物煉製中，hemicellulase 可支援多種下游目的：釋放可發酵糖、改善固液分離、降低漿料黏度、提高纖維素可及性，或產生特定寡糖。真菌系統在木質纖維素解構中尤其重要，因其可分泌多種 cellulase、hemicellulase 與輔助氧化酵素；近年研究也持續從酵素機制、菌株分泌系統與水解條件來改善整體降解效率。<sup>[10]</sup>

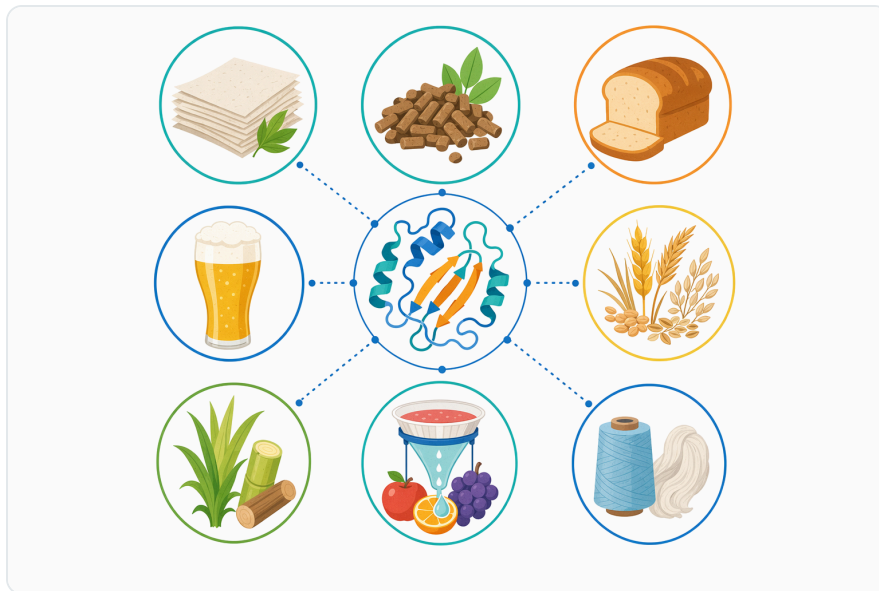


Figure 3. 半纖維素酶的工業應用包括生質量水解、穀物加工、紙漿漂白、動物飼料，以及植物材料萃取。

部分工業流程會關注耐熱或在較嚴苛條件下仍具穩定性的酵素，因為較高溫度可能有助於降低污染風險、改善底物溶解或提高傳質效率。熱嗜性微生物與其酵素在工業生物技術中的應用回顧指出，耐熱酵素可為製程提供更大的操作彈性；但對 hemicellulase 而言，實際適用性仍取決於底物、pH、抑制物與其他酵素的相容性。<sup>[11]</sup>

微生物如何調控 hemicellulase 相關基因，也影響酵素系統的組成與誘導方式。細菌 hemicellulase 基因調控模型的研究顯示，微生物會依據可用碳源與環境訊號調整半纖維素降解酵素表現；這有助於解釋為何不同來源的酵素系統在 xylan、mannan 或複合植物原料上的表現不同。對應用端而言，來源差異不只是標籤資訊，而是會反映在底物偏好與產物分布上。<sup>[12]</sup>

## Hemicellulase 功能與應用對照表

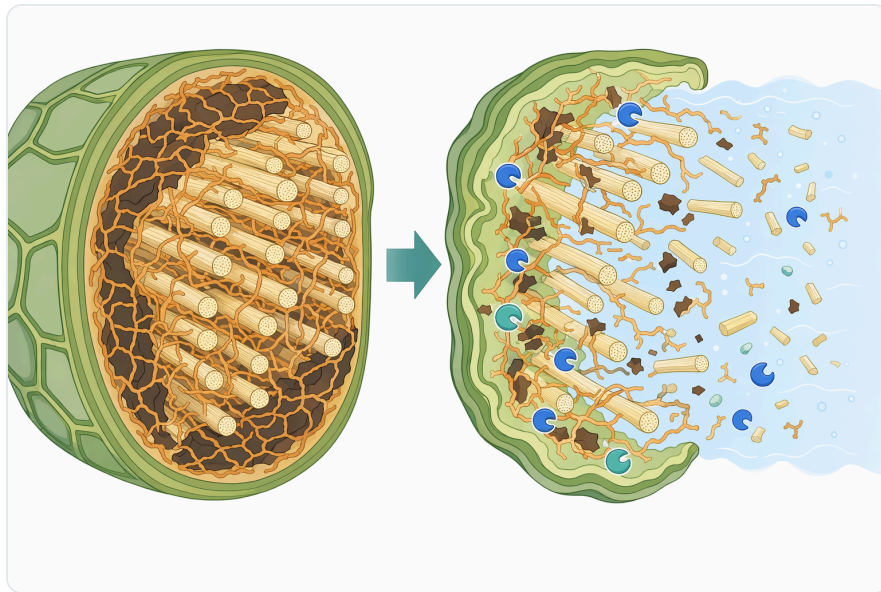
半纖維素相關底物或結構	主要 hemicellulase 功能	典型產物或製程效果	常見 B2B 應用意義
Xylan 主鏈	Endo-xylanase 切割 $\beta$ -1,4 木糖鍵	木寡糖、較低黏度、提高可溶性	XOS 製備、生物質糖化、食品副產物轉化
Xylooligosaccharides	$\beta$ -xylosidase 末端水解	Xylose 增加、寡糖累積降低	發酵糖釋放、提高總糖化深度
Arabinoxylan 側鏈	$\alpha$ -L-arabinofuranosidase 去除阿拉伯糖側基	主鏈更易被 xylanase 接近	穀物副產物、農業殘渣處理
Acetylated xylan	Acetyl xylan esterase 去乙酰化	降低取代基阻礙	改善 xylan 水解效率
Feruloylated polysaccharides	Feruloyl esterase 斷開酚酸酯鍵	降低多醣與木質素交聯	草本原料、生物煉製前處理輔助
Mannan / glucomannan	Mannanase 與相關輔助酵素	Mannooligosaccharides 或可溶性糖	軟木、特定植物膠與食品加工應用

這張表的重點是：hemicellulase 的選擇不能只看「是否能分解半纖維素」，而要看底物是哪一類半纖維素、取代基多不多、目標是寡糖還是單糖，以及是否需要與 cellulase 共同改善整體水解。xylan 水解機制研究已清楚顯示，底物結構與酵素功能組合會直接改變反應路徑與產物分布。<sup>[3]</sup>

### 影響效果的關鍵因素：原料、木質素與前處理

第一個關鍵是原料差異。硬木、軟木、農業秸稈、穀物麩皮、豆渣或其他食品副產物，其半纖維素比例、側鏈密度與木質素交聯程度都不同。相同的 hemicellulase 在一種原料上可能主要降低黏度，在另一種原料上則可能顯著增加可溶性糖；若流程目標是 XOS，過度水解反而可能降低目標寡糖收率。<sup>[4]</sup>

第二個關鍵是木質素。木質素會限制酵素進入多醣區域，也可能吸附酵素，使其無法有效作用於 cellulose 或 hemicellulose。研究指出，透過亞硫酸鹽前處理改變木質素結構，並搭配 lignin blockers，可改善木質纖維素酵素水解，說明木質素管理與酵素效率之間具有直接關聯。<sup>[13]</sup>



**Figure 4.** 半纖維素酶可藉由降低纖維素微纖維周圍的半纖維素屏障，打開木質纖維素結構。

第三個關鍵是前處理強度與副產物。有效前處理能提高酵素可及性，但過度處理可能造成糖降解、產生發酵抑制物，或使半纖維素在酵素階段前已流失。第二代生物乙醇相關回顧普遍認為，前處理、酵素水解與發酵必須作為連續系統評估；hemicellulase 的價值也應放在整體碳利用率與製程穩定性中判讀。<sup>[6]</sup>

## 與 cellulase、pectinase 等酵素的搭配邏輯

Hemicellulase 常與 cellulase 一起出現在木質纖維素糖化流程中，原因是兩者處理的是同一細胞壁複合體的不同部分。Cellulase 主要分解纖維素，hemicellulase 則降低半纖維素屏障並釋放五碳糖或寡糖；當半纖維素移除後，cellulase 對纖維素微纖維的接觸機會可能增加。這種協同關係是多數木質纖維素酵素配方設計的基礎。<sup>[1]</sup>

在食品與植物副產物處理中，hemicellulase 也可能與 pectinase、protease 或 amylase 等酵素共同使用，但其目的會依產品而不同。例如在果蔬或豆類副產物中，半纖維素降解可改善細胞壁鬆散度，使蛋白質、多酚或可溶性纖維更容易釋出；在穀物加工中，則可能著重降低非澱粉多醣造成的黏度與加工阻力。okara 生物轉化研究即顯示，多酵素與微生物處理可共同改變植物副產物的營養與功能特性。<sup>[9]</sup>

## 產品與供應資訊：1 kg 線上銷售，文件隨訂單提供

Enzymes.bio 提供 Hemicellulase 產品作為 B2B 原料與製程應用選項，產品以 1 kg 單位在線上直接銷售。CoA (檢驗成績書) 與 SDS (安全資料表) 會隨訂單一併提供，以支援客戶端的收貨確認、內部品管建檔與安全管理；本文不提供特定活性單位、等級、分析方法或活性定義，因為實際導入仍需

依使用者自身原料與製程目的評估。<sup>[10]</sup>

對研發、製程或採購團隊而言，較實際的判讀方式是先釐清應用目標：若目標是生物煉製，重點通常是總糖釋放、與 cellulase 的協同及下游發酵相容性；若目標是 XOS，重點會轉向寡糖分布與過度水解控制；若目標是食品副產物轉化，則需同時看可溶性、風味、黏度、營養組成與配方功能。這些差異決定了 hemicellulase 的價值不是單一數字，而是製程結果。<sup>[4]</sup>

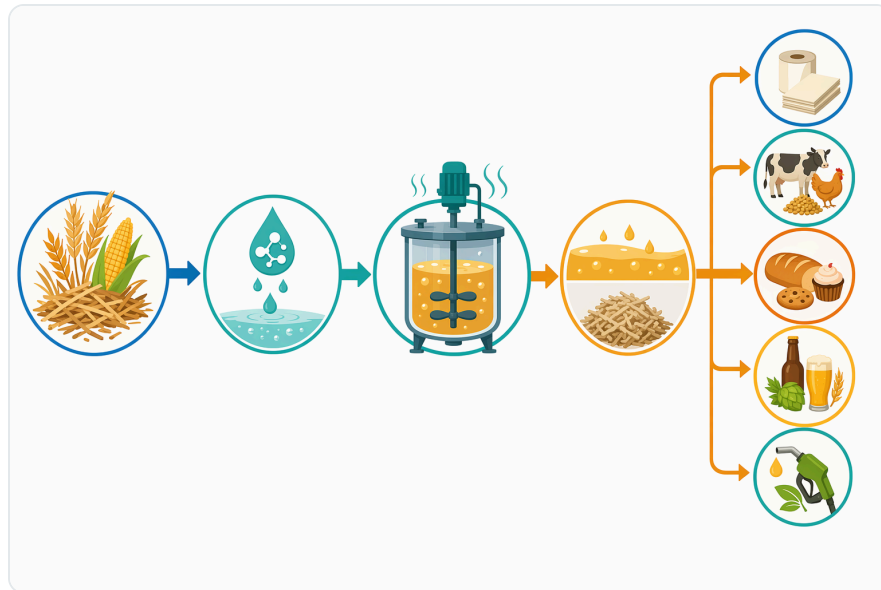


Figure 5. 預處理、界面活性劑、粒徑控制、水合程度與混合方式，都會影響酶在水解過程中是否能接觸到半纖維素鍵。

## 證據強度與應用邊界

Hemicellulase 的機制證據相當扎實，尤其在 xylan 水解、半纖維素與纖維素協同降解、木質纖維素前處理與生物乙醇糖化等領域，已有多篇回顧與機制研究支持。這些文獻一致指出，半纖維素的結構複雜性是酵素組合必要性的根本原因；因此「多功能協同」比單一酵素功能更能解釋實際應用效果。

<sup>[1]</sup>

應用證據則依領域而不同。木質纖維素糖化與生物煉製已有大量研究支持 hemicellulase 的流程價值；XOS 與食品副產物轉化也有明確的研究基礎，但商業結果會受到原料、法規定位、純化需求與配方條件影響。至於更特殊的醫療或高法規用途，若未經相應產品註冊與合規驗證，不宜直接由一般工業原料用途外推。<sup>[14]</sup>

## 結論：Hemicellulase 的價值在於拆解植物細胞壁的「非纖維素阻力」

Hemicellulase 是處理植物性原料時非常關鍵的酵素工具，尤其適合用於木質纖維素糖化、生物煉製、XOS 木寡糖製備與食品副產物升級。它透過主鏈切割、末端水解、去側鏈與去酯化等機制，降低半纖維素對細胞壁解構的阻力，並可與 cellulase 形成互補效果。<sup>[3]</sup>

真正的應用重點不在於把 hemicellulase 視為單一添加物，而在於把它放進原料結構、前處理條件、目標產物與下游流程中整體判讀。當目標是提高糖化率、改善可溶性、降低黏度或製備特定寡糖時，hemicellulase enzyme 提供的是一種以生物催化方式調整植物細胞壁結構的可行路徑。<sup>[6]</sup>

### 線上訂購 Hemicellulase

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 Hemicellulase →](#)

## 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. Houfani, A. A., Anders, N., Spiess, A., Baldrian, P., & Benallaoua, S. (2020). Insights from enzymatic degradation of cellulose and hemicellulose to fermentable sugars– a review. *Biomass & Bioenergy*, 134, 105481.
2. Vaidya, A., Murton, K., Smith, D. A., & Dedual, G. (2022). A review on organosolv pretreatment of softwood with a focus on enzymatic hydrolysis of cellulose. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12, 5427-5442.
3. Moreira, L., & Filho, E. X. F. (2016). Insights into the mechanism of enzymatic hydrolysis of xylan. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100, 5205-5214.
4. Chakraborty, M., & Bhowal, J. (2024). Prospects of Health Beneficial Functional Xylooligosaccharides Produced by Enzymatic Hydrolysis of Xylan and Application in Food Industry: A Comprehensive Review. *Food reviews international (Print)*, 41, 643 - 670.
5. Li, M., Zhang, Q., Chen, C., Wang, S., & Min, D. (2019). Lignin Interaction with Cellulase during Enzymatic Hydrolysis. *Paper and Biomaterials*.
6. Alvira, P., Tomás-Pejó, E., Ballesteros, M., & Negro, M. (2010). Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. *Bioresource Technology*, 101, 4851-61.

7. Shubakov, A., Mihaylova, E., & Martynov, V. (2022). Bioconversion of cellulose-containing raw material. Enzymatic hydrolysis of cellulose (review). *Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Division of the Russian Academy of Sciences.*
8. Kandhola, G., Djiroleu, A., Carrier, D., & Kim, J. (2017). Pretreatments for Enhanced Enzymatic Hydrolysis of Pinewood: a Review. *Bioenergy Research*, 10, 1138-1154.
9. Vong, W., Lim, X. Y., & Liu, S. (2017). Biotransformation with cellulase, hemicellulase and *Yarrowia lipolytica* boosts health benefits of okara. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 101, 7129-7140.
10. Ren, F., Wu, F., Wu, X., Bao, T., Jie, Y., & Gao, L. (2024). Fungal systems for lignocellulose deconstruction: From enzymatic mechanisms to hydrolysis optimization. *GCB Bioenergy*, 16.
11. Gomes, E., Souza, A. R., Orjuela, G., Silva, R., Oliveira, T., & Rodrigues, A. (2016). Applications and Benefits of Thermophilic Microorganisms and Their Enzymes for Industrial Biotechnology.
12. Novak, J., & Gardner, J. G. (2024). Current models in bacterial hemicellulase-encoding gene regulation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 108.
13. Huang, C., Li, R., Tang, W., Zheng, Y., & Meng, X. (2022). Improve Enzymatic Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass by Modifying Lignin Structure via Sulfite Pretreatment and Using Lignin Blockers. *Fermentation.*
14. Utilization Of Bacterial Enzymes For Cellulose And Hemicelluloses Degradations Medical And Industrial Benefits. *Ncsu.*


## 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。