

Cellulase Enzyme For Bioethanol Production (CAS 9012-54-8) : 用於第二代生質乙醇糖化的纖維素酶

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

Cellulase Enzyme For Bioethanol Production (CAS 9012-54-8) 是用於木質纖維素生質乙醇製程的纖維素分解酵素，主要功能是把預處理後的纖維素水解為葡萄糖等可發酵糖。它通常不是單一酵素，而是由內切纖維素酶、外切纖維素酶與 β -葡萄糖苷酶等活性共同構成的酵素系統，適合用於稻稈、蔗渣、玉米秸稈、紙漿污泥與其他纖維素原料的糖化步驟。Enzymes.bio 以 1 kg 單位在線上供應此產品，CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供；Enzymes.bio 為供應商，並非製造商或實驗室。

Cellulase 在生質乙醇製程中的主要應用

Cellulase (纖維素酶) 在生質乙醇，特別是第二代木質纖維素生質乙醇中，扮演「把固態纖維素轉成可發酵糖」的催化角色。第一代乙醇多使用澱粉或糖質作物，糖源較容易被酵母利用；第二代乙醇則以農業殘渣、林業剩餘物、草本生質物或工業纖維素副產物為原料，這些原料的主要碳源被包覆在纖維素、半纖維素與木質素形成的複合結構中，因此必須經過前處理與酵素水解，才能釋放葡萄糖、木糖與其他可發酵糖。近年關於木質纖維素生質乙醇的綜述普遍將酵素糖化列為製程效率、成本與永續性評估中的核心環節。^[1]

在實務上，Cellulase Enzyme For Bioethanol Production 常用於預處理後的纖維素原料糖化，接著再進入發酵槽由酵母或工程菌株將糖轉成乙醇。若原料是蔗渣、稻草、玉米秸稈或紙漿污泥，前處理的目的通常是打開木質素屏障、降低纖維束緊密度、提高比表面積，讓 cellulase 能接觸纖維素鏈。研究與產業回顧均指出，酵素水解的表現不是由酵素本身單獨決定，而是由原料組成、前處理嚴苛度、固含量、糖化時間、抑制物殘留與發酵配置共同影響。^[2]

纖維素為何需要酵素水解？

纖維素是由葡萄糖單元以 β -1,4 鍵連接形成的線性高分子，許多分子鏈透過氫鍵排列成微纖維，形成部分高度結晶的結構。這種結構使纖維素具有機械強度與化學穩定性，也讓水分子與酵素較難進入纖維束內部。天然植物細胞壁中，纖維素還與半纖維素、木質素、果膠與其他成分交織，木質素會形成物理屏障並可能造成非生產性吸附，使酵素停留在不能有效水解的表面上。^[3]

因此，cellulase 的價值不只是「切斷纖維素」，而是以較溫和、具選擇性的方式，把前處理已暴露出的纖維素轉換成可發酵糖。相較於單純強酸水解或高嚴苛熱化學處理，酵素糖化可降低不必要的副反應風險，例如糖降解形成發酵抑制物；但它並不能省略所有前處理。若纖維素仍被木質素包覆或結晶度過高，即使加入 cellulase，也可能出現轉換率低、反應時間長或酵素需求增加的問題。^[4]

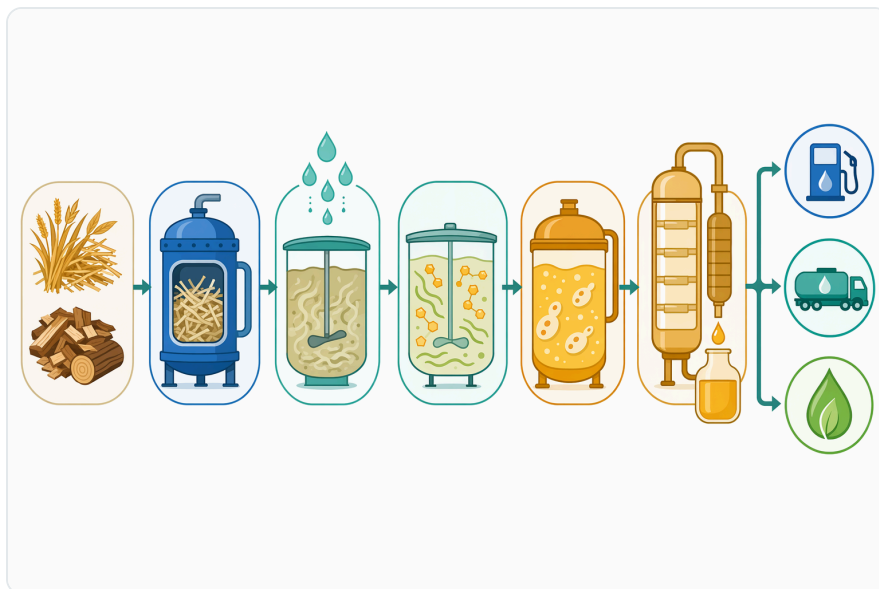


Figure 1. 纖維素酶位於生物質預處理與發酵之間，負責將可及的纖維素轉化為可發酵糖。

Cellulase 複合酵素的作用機制

Cellulase 通常指一組能協同分解纖維素的酵素，而非單一蛋白質。第一類是內切纖維素酶 (endoglucanase)，它會在纖維素鏈內部較鬆散或非結晶區域切割 β -1,4 鍵，產生新的鏈端並增加反應表面。這一步像是把長而緊密的纖維素鏈切成較短片段，為後續外切酵素創造更多進攻點。許多微生物來源 cellulase 的研究都會關注這類活性，因為它直接影響初期纖維素可及性的提升。^[5]

第二類是外切纖維素酶或纖維二糖水解酶 (cellobiohydrolase)，它沿著纖維素鏈端逐步釋放纖維二糖 (cellobiose) 或短寡糖。這類酵素對結晶纖維素特別重要，因為結晶區域不容易被隨機切割，需要能沿著鏈端持續作用的外切酵素。第三類是 β -葡萄糖苷酶 (β -glucosidase)，它將纖維二糖與短鏈寡糖進一步水解為葡萄糖；這一步不只提供發酵菌可直接利用的糖，也有助於降低纖維二糖對上游 cellulase 的產物抑制。^[2]

三者的協同作用是 cellulase 用於生質乙醇糖化的關鍵。若內切活性不足，纖維素鏈端生成有限；若外切活性不足，短鏈片段無法有效轉為纖維二糖；若 β -葡萄糖苷酶不足，纖維二糖累積會降低整體水解效率。這也是為什麼工業應用中的 cellulase 常被視為酵素組合或酵素雞尾酒，而不是以單一酵素性能判斷全部表現。部分研究也會加入半纖維素酶或氧化型酵素，以改善不同生質物基質的整體可水解性。^[6]

從原料到乙醇：Cellulase 介入的位置

木質纖維素生質乙醇的一般流程可分為原料準備、前處理、酵素水解、發酵、蒸餾與副產物處理。Cellulase 主要用於前處理之後的酵素水解階段：前處理先破壞細胞壁結構，cellulase 再將纖維素轉為葡萄糖，發酵菌接著把葡萄糖轉化為乙醇。若系統中也希望利用木糖等五碳糖，還需要能運輸與代謝這些糖的發酵菌株；近年關於真菌糖轉運子的研究，即是為了提高第二代乙醇對混合糖流的利用效率。^[7]

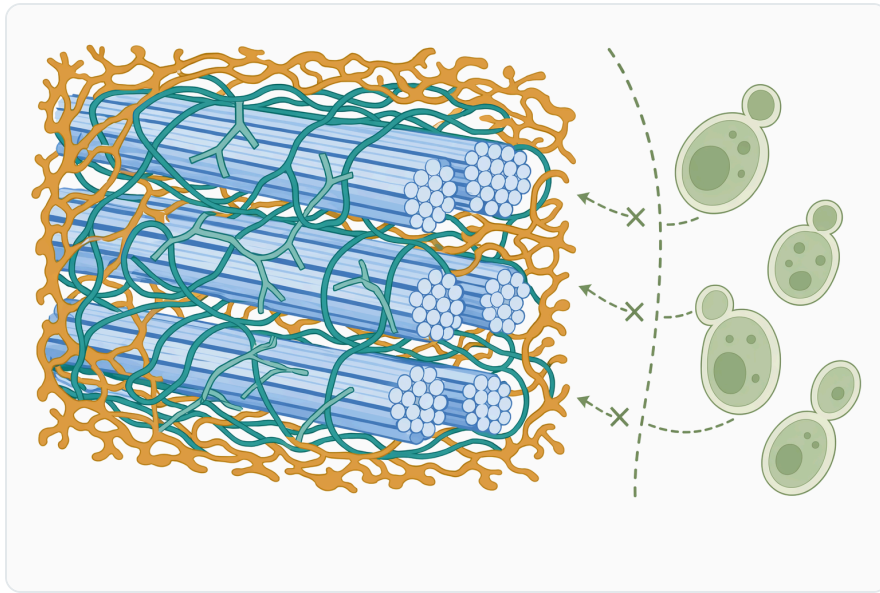


Figure 2. 纖維素難以直接發酵，因為葡萄糖單元被鎖在不溶性微纖維內，並受到半纖維素與木質素的保護。

糖化與發酵可以採分段式水解發酵 (SHF) 或同時糖化發酵 (SSF)。SHF 的好處是水解與發酵可分別設定較適合的條件，便於分開控制；缺點是水解階段可能累積葡萄糖或纖維二糖，增加產物抑制。SSF 則讓發酵菌在糖生成後即時消耗葡萄糖，理論上可降低抑制並縮短流程，但必須在酵素與微生物都可接受的溫度與 pH 交集內操作。以紙漿污泥等高固含量原料進行乙醇生產的研究，也顯示酵素水解、菌株能力與固體負載之間需要一起考量。^[8]

製程配置	Cellulase 的角色	主要優點	主要限制
SHF：分段式水解與發酵	先將預處理纖維素水解為葡萄糖，再送入發酵	水解條件與發酵條件可分開調整；便於觀察糖化表現	產物可能累積並抑制水解；總流程時間可能較長
SSF：同時糖化與發酵	Cellulase 持續釋放糖，發酵菌同步消耗	可降低葡萄糖或纖維二糖累積；流程整合度高	操作條件需同時兼顧酵素與菌株；高固含量時混合與傳質較困難

製程配置	Cellulase 的角色	主要優點	主要限制
酵素糖化搭配混合酵素	Cellulase 與 xylanase 等副酵素協同	有助於處理半纖維素與提高纖維素暴露	效果高度依賴原料組成與前處理結果
高固含量糖化	在較高固體濃度下釋放較高糖濃度	有利於提高後續乙醇濃度與降低蒸餾負擔	黏度、混合、抑制物與酵素分布會成為挑戰

適用原料與應用情境

Cellulase Enzyme For Bioethanol Production 可用於多種含纖維素原料的糖化評估與製程開發，包括稻稈、麥稈、玉米秸稈、甘蔗渣、林木殘材、能源草、紙漿污泥及其他工業纖維素副產物流。研究上，農業殘渣常被用作 cellulase 生產與糖化應用的基質；例如以耐熱真菌相關系統處理農業殘渣並用於稻草糖化的研究，說明不同原料與微生物來源酵素之間存在明顯互動。^[9]

紙漿污泥是另一類值得注意的基質，因為它通常已含有大量纖維素成分，且來自既有工業流程，具備廢棄物資源化意義。針對紙漿污泥的高固含量乙醇生產研究顯示，工業酵母與具纖維素分解能力的酵母株可被整合進製程，以改善糖化與發酵之間的銜接。這類研究提醒使用者：cellulase 的效果不只取決於酵素活性，也取決於發酵微生物能否快速利用釋放的糖。^[8]

對蔗渣、玉米秸稈與稻草等作物殘渣而言，前處理通常是決定 cellulase 表現的首要變因。鹼處理可移除部分木質素，酸處理偏向水解半纖維素，蒸汽爆破可打散纖維結構，新興溶劑或深共熔溶劑則被研究用來降低前處理環境負擔。然而，任何前處理都可能同時帶來抑制物、鹽分、殘留溶劑或 pH 偏移，因此後續是否適合 cellulase 水解，需要以整個流程相容性來看。^[10]

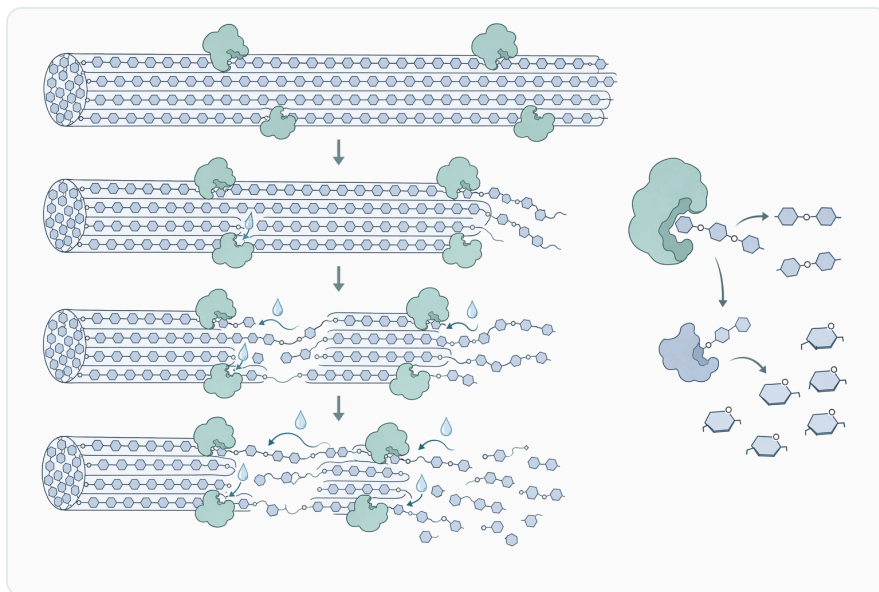


Figure 3. 內切葡聚糖酶、纖維二糖水解酶與 β -葡萄糖苷酶依序作用，將纖維素鏈轉化為纖維二糖和葡萄糖。

酵素來源與性能差異：為何不能只看「cellulase」這個名稱？

不同微生物來源的 cellulase 在穩定性、底物偏好與操作條件上可能差異很大。真菌來源，尤其是 *Trichoderma* 屬，長期被用於 cellulase 生產與工業酵素開發；相關研究持續針對培養條件與菌株改良進行優化，以提高 cellulase 產量與組成平衡。這類研究支持一個實務觀點：同樣稱為 cellulase 的產品，可能在內切、外切與 β -葡萄糖苷酶比例上不同，導致同一基質上的糖化曲線不完全相同。^[11]

細菌來源 cellulase 則常被研究其耐熱性、耐 pH 變化或特定環境適應性。例如來自溫泉環境 *Bacillus* sp. 的耐熱 cellulase 研究，反映高溫環境微生物可能提供較高熱穩定性的酵素候選；另有 *Bacillus*、*Streptomyces*、*Fusarium* 與 *Aspergillus* 等來源的 cellulase 研究，顯示自然界中可產生 cellulase 的微生物相當多元。這些文獻不代表任一商業產品必然具備相同特性，但可解釋為何應用端需要重視來源與配方差異。^[12]

在製程開發上，cellulase 的「穩定性」與「協同組成」往往比單一指標更重要。高固含量、前處理殘留抑制物、乙醇累積、剪切混合與長時間反應都可能影響酵素表現。針對 cellulase 技術進展的綜述指出，未來挑戰不只在提高活性，也包括降低成本、改善耐受性、強化與輔助酵素的協同，以及讓酵素更適合真實工業條件。^[3]

前處理、抑制物與酵素可及性

木質纖維素不是單純的纖維素塊，而是由纖維素微纖維、半纖維素基質與木質素網絡構成。前處理的目的，是讓 cellulase 能夠接近纖維素表面並建立有效吸附；若前處理不足，酵素可能無法進入纖維束；若前處理過度，糖可能降解，並生成抑制發酵菌或酵素的副產物。生質乙醇永續性研究也指出，前處理能耗、化學品使用、廢液處理與酵素成本，會共同決定第二代乙醇是否具備環境與經濟優勢。^[4]

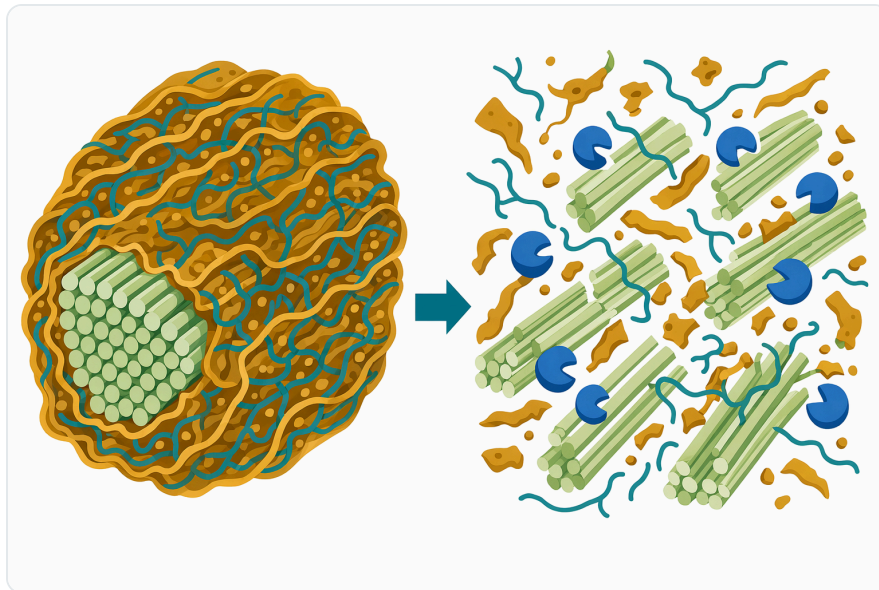


Figure 4. 預處理可打開木質纖維素基質，暴露更多纖維素表面供纖維素酶作用，從而提升糖化效率。

抑制物來源包括木質素降解形成的酚類化合物、半纖維素降解形成的有機酸，以及糖降解形成的呋喃類化合物等。這些物質可能降低酵素水解速率，也可能抑制酵母生長與乙醇生成。Cellulase 在較乾淨、纖維素暴露充分且 pH 已調整到適合範圍的漿料中通常較容易發揮功能；但在真實生質物漿料中，非生產性吸附、黏度上升與局部質傳限制常使實際效果低於理想化模型。^[2]

近年深共熔溶劑等較綠色的前處理系統受到注意，原因是它們可能以較低揮發性與可調組成改善木質素移除或纖維素可及性。然而，溶劑殘留也可能影響 cellulase 穩定性與活性，因此相關研究同時關注深共熔溶劑對 cellulase 的保護、抑制或變性作用。這再次說明，前處理與酵素水解不能分開設計，必須把溶劑、鹽度、pH、溫度與殘留有機物視為同一系統。^[10]

與輔助酵素的協同：不只分解纖維素

雖然本產品定位為 bioethanol production 用 cellulase，但木質纖維素原料中還有大量半纖維素，包含木聚糖、甘露聚糖、阿拉伯聚糖等。若半纖維素包覆纖維素表面，cellulase 即使存在也可能接觸受限。因此，在某些原料中加入 xylanase 或其他半纖維素酶，可提高纖維素暴露，並額外釋放木糖等糖分。以 *Streptomyces lividans* 產生 xylanase 與 cellulase 的研究即呈現兩類酵素在底物發酵與纖維降解應用上的互補性。^[6]



Figure 5. 常見的預處理途徑在增加纖維素酶接觸纖維素的方式，以及所帶來的製程取捨上各有不同。

此外，氧化型酵素如裂解性多醣單加氧酶 (LPMO) 也被討論用於纖維素降解。這類酵素能以氧化方式切入結晶纖維素表面，讓傳統水解型 cellulase 更容易接續作用。關於 cellulase 與氧化酵素在生質乙醇中的綜述指出，未來提高纖維素降解效率的方向，可能不只是增加傳統 cellulase，而是建立更貼近植物細胞壁複雜性的多酵素系統。^[2]

Cellulase 對乙醇產率的影響：強證據與條件限制

較強的證據是：在適當前處理之後，cellulase 可有效將纖維素轉為葡萄糖，並支持後續乙醇發酵。這一點在多種原料、多種微生物來源酵素與多篇綜述中相當一致。對生質乙醇而言，cellulase 的產業價值主要來自提高可發酵糖生成、改善固態殘渣利用率，並讓農業與工業副產物有機會轉化為燃料或化學品平台原料。^[1]

條件限制也同樣明確：cellulase 不是能保證所有原料高轉換率的萬用添加物。若原料含木質素高、前處理不足、固含量過高、抑制物濃度高或混合不均，糖化效率都可能下降。另一方面，若前處理過度造成糖流中抑制物增加，乙醇發酵也可能受損。也就是說，cellulase 的最佳效益通常出現在「前處理足以暴露纖維素，但又不過度破壞糖與發酵相容性」的窗口內。^[4]

對高固含量系統而言，cellulase 的重要性更高，因為高固含量可產生較高糖濃度與乙醇濃度，有助於降低後段蒸餾能耗；但它也會帶來黏度、傳質、局部抑制與酵素分散不均等問題。紙漿污泥高固含量乙醇研究顯示，工業菌株、能分泌 cellulase 的酵母與製程配置都會影響最終乙醇生產表現，說明高固含量不是單純提高固體比例即可成功。^[8]

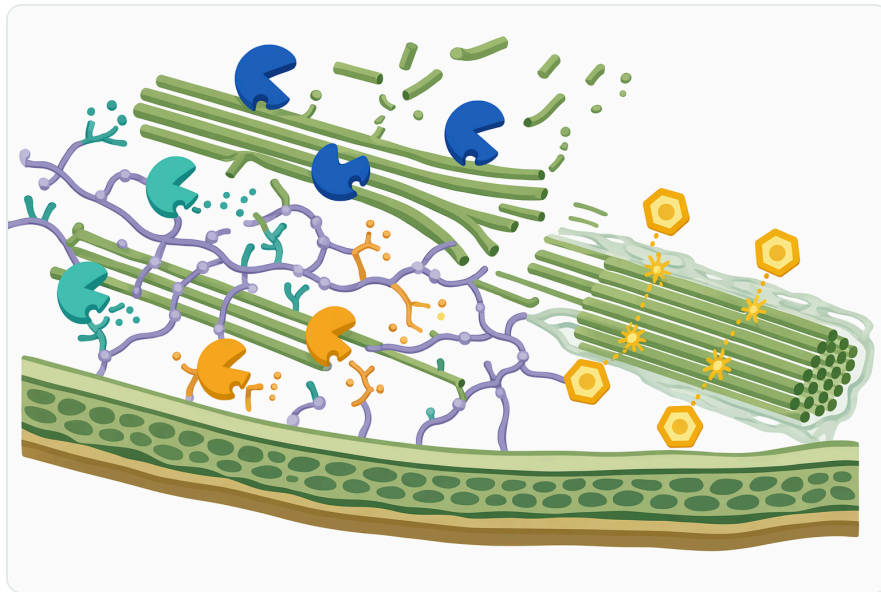


Figure 6. 輔助酶可鬆動半纖維素網絡，並協助克服頑固的纖維素區域，從而提升纖維素酶的作用效果。

操作環境的技術考量

Cellulase 作為蛋白質催化劑，會受到溫度、pH、離子強度、金屬離子、表面活性物質、溶劑與抑制物影響。不同來源 cellulase 的適合條件不同，真菌來源常見於偏酸性糖化環境，某些細菌或耐熱來源則被研究於較高溫條件。來自熱泉 *Bacillus sp.* 的耐熱 cellulase 研究即說明，環境來源可影響酵素穩定性，也讓耐熱 cellulase 成為高溫糖化或降低污染風險流程中的研究方向。^[12]

在 SSF 製程中，操作條件需要同時符合 cellulase 與發酵菌的需求。酵素可能偏好較高溫度以加速水解，但常用釀酒酵母的最佳發酵環境不一定相同；因此實務上需在糖化速率與發酵活性之間取平衡。若使用能耐受較高溫或能利用多種糖的菌株，理論上可放寬流程窗口，但這涉及菌株本身性能與生產系統設計。^[7]

另一項常見限制是產物抑制。纖維二糖累積會抑制部分 cellulase，上游水解產生的葡萄糖也可能降低水解推進力；SSF 的優勢之一，就是利用發酵菌即時消耗葡萄糖，減少產物累積。 β -葡萄糖苷酶在這裡尤其重要，因為它把纖維二糖轉成葡萄糖，使整個 cellulase 系統不會停在中間產物階段。^[2]

酵素成本、永續性與產業效益

在第二代生質乙醇中，cellulase 成本一直是商業化的重要議題。若酵素需求高、糖化時間長或前處理成本高，乙醇生產的整體經濟性就會受到壓力。因此，許多研究聚焦於提高 cellulase 產量、改善酵素穩定性、使用低成本誘導物或農業副產物作為酵素生產基質。以 sophorose 促進 cellulase 生產的研究即反映，誘導物與發酵策略仍是降低酵素生產成本的研究方向之一。^[13]



Figure 7. 纖維素酶輔助糖化適用於稻草、牧草、農作物副產物、入侵性生物質，以及水果或蔬菜渣等殘餘物。

從永續性角度看，cellulase 有助於把低價或廢棄纖維素資源轉化為燃料，並可能降低對食用糖質作物的依賴。可是，永續性不能只看酵素本身是否「天然」或「可生物降解」，還必須納入前處理能源、化學品回收、水耗、酵素製備、運輸與副產物處理。近期關於木質纖維素乙醇永續性的文獻強調，技術、政策、經濟與社會接受度都會影響第二代乙醇的實際推廣。^[4]

Enzymes.bio 供應資訊與文件定位

Enzymes.bio 線上供應 Cellulase Enzyme For Bioethanol Production (CAS 9012-54-8)，產品以 1 kg 單位銷售，適合需要進行生質乙醇糖化、製程評估或相關應用開發的使用者依自身流程安排使用。CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，用於產品批次資訊、安全處理與內部文件留存；本文不提供或延伸任何製造商規格、實驗室分析方法或活性單位定義。

需要特別區分的是，Enzymes.bio 是供應商，不是酵素製造商，也不是提供分析服務的實驗室。因此，本文的目的不是替特定製造來源背書，也不是宣稱某一固定條件下必然達到特定糖化率，而是把 cellulase 在生質乙醇中的科學角色、機制、限制與應用情境說清楚。實際製程表現仍取決於使用者的原料、前處理、發酵菌株、固含量與整體流程設計。

安全與處理注意事項

Cellulase 屬於酵素蛋白，粉體或氣溶膠暴露可能對敏感者造成呼吸道或皮膚刺激；液態產品也應避免長時間直接接觸皮膚與眼睛。一般工業或研發環境中，應依照隨貨 SDS 與內部職安規範進行儲存、分裝與操作，並避免不必要的粉塵或飛濺。酵素本身具有催化活性，但不是可燃料或發酵菌；它的主要安全重點通常在過敏原性、刺激性與操作暴露管理。

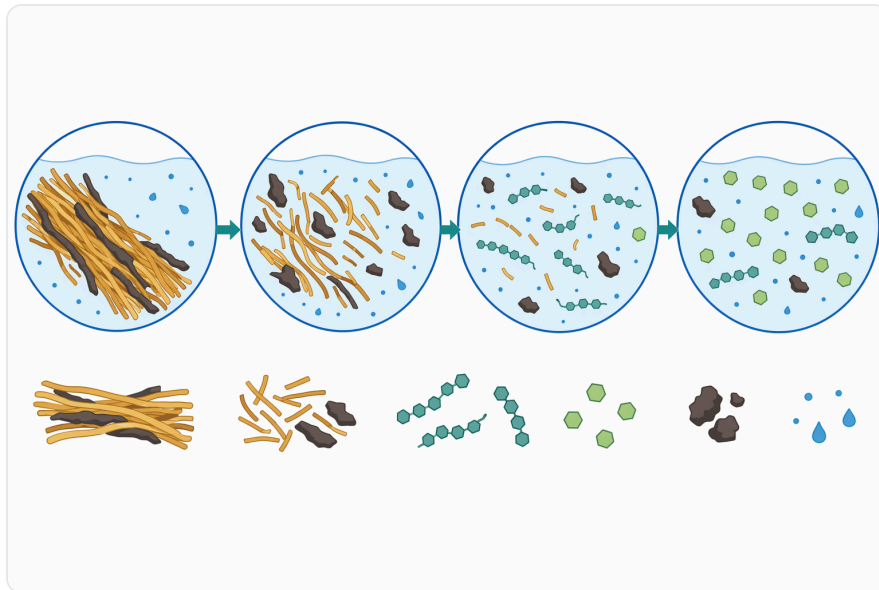


Figure 8. 在纖維素酶水解過程中，碳水化合物會由不溶性纖維轉移到液相中的可溶性寡糖、纖維二糖與葡萄糖。

儲存上，酵素蛋白對高溫、強酸強鹼、反覆凍融或長時間日照可能較敏感，實務保存條件應以產品標籤與隨貨文件為準。由於不同批次與不同供應來源可能有不同穩定性資訊，使用者不宜把其他文獻中的最佳條件直接套用到特定產品；較合理的做法是把文獻作為理解機制與設計流程的背景，再依隨貨文件與自身製程條件安排使用。

應用結論

Cellulase Enzyme For Bioethanol Production (CAS 9012-54-8) 的核心價值，是在第二代生質乙醇製程中把預處理後的纖維素轉化為可發酵葡萄糖。其作用仰賴內切纖維素酶、外切纖維素酶與 β -葡萄糖苷酶的協同，也常受半纖維素、木質素、抑制物與固含量影響。當前處理、酵素糖化與發酵配置彼此相容時，cellulase 可提高生質物資源化效率，支持農業殘渣、紙漿污泥與其他纖維素副產物轉化為乙醇。^[1]

同時，cellulase 的效果必須放在整體製程中評估：它不能完全取代前處理，也不能消除所有原料差異。對 B2B 使用者而言，理解 cellulase 的機制、限制與流程互動，比單純把它視為「增加糖化率的添加物」更重要。Enzymes.bio 以 1 kg 單位供應此產品，並隨訂單提供 CoA 與 SDS；本文作為產品頁延伸技術文件，旨在協助使用者建立可信的應用背景與製程判斷基礎。

線上訂購 Cellulase Enzyme For Bioethanol Production Cas 9012-54-8

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 Cellulase Enzyme For Bioethanol Production Cas 9012-54-8 →](#)

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. Novia, N., Melwita, E., Jannah, A., Selpiana, S., Yandriani, Y., Afrah, B. D., & Rendana, M. (2025). Current advances in bioethanol synthesis from lignocellulosic biomass: sustainable methods, technological developments, and challenges. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*.
2. Barbosa, F. C., Silvello, M., & Goldbeck, R. (2020). Cellulase and oxidative enzymes: new approaches, challenges and perspectives on cellulose degradation for bioethanol production. *Biotechnology Letters*, 42, 875 - 884.
3. Budhraj, A. A., & Roy, R. (2024). ADVANCEMENTS IN CELLULASE ENZYME TECHNOLOGY: APPLICATIONS, CHALLENGES, AND FUTURE PERSPECTIVES. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*.
4. Afedzi, A. E. K., Afrakomah, G. S., Gyan, K., Khan, J., Seidu, R., Baidoo, T., Sultan, I. N., ... et al. (2025). Enhancing Economic and Environmental Sustainability in Lignocellulosic Bioethanol Production: Key Factors, Innovative Technologies, Policy Frameworks, and Social Considerations. *Sustainability*.
5. Uğraş, S., Bicen, H. E. I., & Emire, Z. (2024). Determination of Cellulase Enzyme Produced by Bacillus cereus DU-1 Isolated from Soil, and Its Effects on Cotton Fiber. *Brazilian Archives of Biology and Technology*.
6. Joshi, K. (2025). Enzyme Activity Profile of Crude and Purified Xylanase and Cellulase Produced Using Substrate Fermentation from Indigenously Isolated Streptomyces Lividans. *Bioscience Biotechnology Research Communications*.
7. Pereira, L. M. S., Taveira, I. C., Maués, D. B., Paula, R. G., & Silva, R. N. (2025). Advances in fungal sugar transporters: unlocking the potential of second-generation bioethanol production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 109.
8. Dyk, J., Görgens, J., & Rensburg, E. (2023). Enhanced ethanol production from paper sludge waste under high-solids conditions with industrial and cellulase-producing strains of Saccharomyces cerevisiae. *Bioresource Technology*, 130163 .
9. Bajaj, B., Sharma, M., & Rao, R. S. (2014). Agricultural residues for production of cellulase from Sporotrichum thermophile LAR5 and its application for saccharification of rice straw.

10. Hatimuria, M., Chandran, C. N., V, A., Anil, A. J., Nambiar, N., & Pabbathi, A. (2026). A review on the impact of green deep eutectic solvents on the stability and activity of cellulase. *Carbohydrate Research*, 563, 109848 .
11. R, P., Christopher, S. S. J., Babu, M., & Menon, G. (2025). Optimization of culture conditions and strain improvement for maximum Cellulase production by Trichoderma. *book.anvpublication.*
12. M.N., H., Sadeepa, H., Manage, P., & Sirisena, K. (2024). Characterization of Thermostable Cellulase Enzyme Isolated from a Hot Spring Bacterium: Bacillus sp. *Proceedings of International Forestry and Environment Symposium.*
13. Yang, H., Han, Y., & Peng, X. (2024). Efficient production of sophorose from glucose and its potentially industrial application in cellulase production. *Bioresource Technology*, 131402 .


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。