

耐高溫 α -澱粉酶 (Thermostable Alpha Amylase) 用於澱粉水解、液化與去漿的技術說明

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

耐高溫 α -澱粉酶是一種澱粉水解酵素，主要用於澱粉液化、糖漿前處理、發酵原料製備、紡織去漿與含澱粉廢物流處理。它能在較高製程溫度下切斷澱粉分子內部的 α -1,4-葡萄糖苷鍵，快速降低黏度並產生糊精、麥芽寡糖等可再轉化的中間產物。相較一般澱粉酶，耐高溫版本的價值在於可配合糊化與液化條件運作，減少冷卻需求、降低污染風險，並提高固形物澱粉製程的連續性與穩定性^[1]。

產品定位：Starch Hydrolysis Enzyme Alpha Amylase Thermostable Enzyme

Starch Hydrolysis Enzyme Alpha Amylase Thermostable Enzyme 指的是以耐熱 α -澱粉酶為核心功能的澱粉水解用酵素產品。其主要應用不是「直接把澱粉完全變成葡萄糖」，而是在澱粉加工流程中執行液化與降黏：先將長鏈澱粉切成較短的可溶性糊精與寡糖，再依終端產品需求，搭配葡萄糖澱粉酶、支鏈酶或其他糖化酵素進一步轉化為葡萄糖、麥芽糖或特定麥芽寡糖^[2]。

Enzymes.bio 供應此類酵素產品並以 1 kg 單位在線上銷售；CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，用於批次資訊確認與安全管理。本文作為技術性說明文件，聚焦於耐高溫 α -澱粉酶的機制、應用與導入思考；Enzymes.bio 並非製造商，也不是檢測實驗室，因此本文不呈現製造條件、活性單位數值、等級宣稱或分析方法。

什麼是耐高溫 α -澱粉酶？

α -澱粉酶通常被歸類為內切型澱粉水解酵素，能在澱粉分子鏈內部切斷 α -1,4-葡萄糖苷鍵。與外切型酵素不同， α -澱粉酶不需要從分子末端逐步釋放單糖，而是可以在澱粉鏈中間多點作用，因此在液化階段能快速降低聚合度與黏度，這也是它被廣泛用於澱粉糖、酒精發酵、啤酒、烘焙與紡織去漿的原因^[3]。

「耐高溫」並不代表酵素在任何高溫下都不會失活，而是指其蛋白質結構在熱加工條件下較能維持催化構形。工業生物技術文獻普遍指出，嗜熱微生物與其酵素在高溫製程中具備重要價值，因為高溫可提升底物溶解、降低黏度、增加傳質，並在部分流程中抑制雜菌生長^[4]。對澱粉而言，這點尤其重

要，因為許多澱粉原料必須經過糊化後才更容易被酵素接觸。

耐高溫 α -澱粉酶常與 *Bacillus*、*Geobacillus* 等細菌來源或其相關酵素工程研究一起被討論。近年綜述指出，熱穩定性可來自天然嗜熱來源，也可透過蛋白質工程改善，例如強化鹽橋、疏水核心、金屬離子結合區域或迴圈區域穩定性^[5]。這些機制的共同目標，是讓活性位點在製程溫度波動下仍維持足夠正確的立體構形。

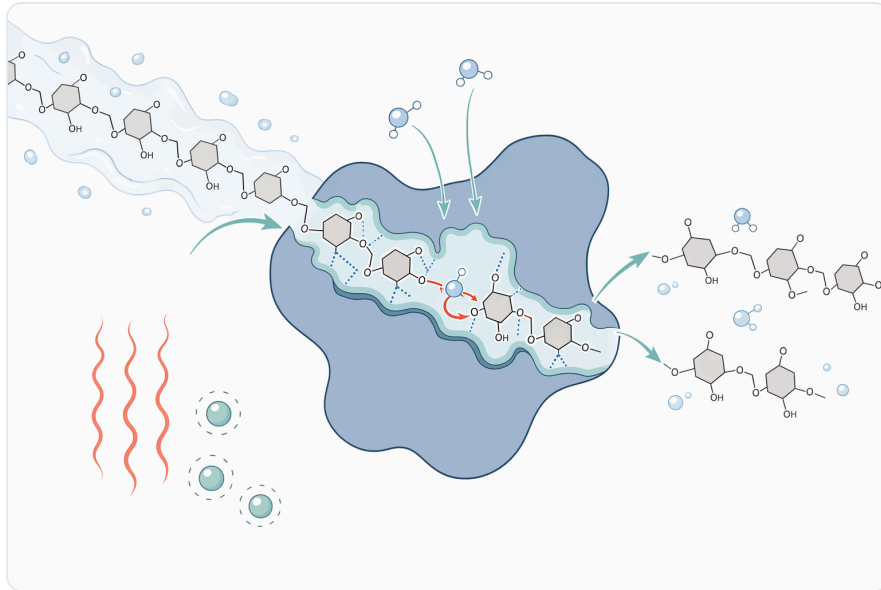


Figure 1. α -澱粉酶會在直鏈澱粉與支鏈澱粉內部切斷 α -1,4 鍵，形成較短的糊精與可溶性碳水化合物，從而迅速降低澱粉糊的黏度。

澱粉水解的核心機制：從顆粒結構到分子切割

澱粉並不是單一均質材料，而是由直鏈澱粉、支鏈澱粉與多層次顆粒結構組成。直鏈澱粉多為較線性的 α -1,4 鍵連接葡聚糖；支鏈澱粉則含有 α -1,6 分支點。 α -澱粉酶主要切斷 α -1,4 鍵，對分支點本身的處理能力有限，因此產物通常包含不同長度的糊精與支鏈寡糖，而非單一糖種^[6]。

在實際製程中，澱粉水解效率取決於兩件事：第一，酵素是否能接近可切割的鍵；第二，切割後的產物是否能被下一步流程有效利用。研究顯示，澱粉的分子構形、結晶區比例、顆粒孔隙、糊化狀態與水分分布，都會影響酵素可及性與水解速率^[6]。因此，同樣是 α -澱粉酶，用於玉米澱粉、木薯澱粉、米澱粉、豆類澱粉或抗性澱粉時，實際效果可能差異很大。

α -澱粉酶的反應可理解為「快速打斷長鏈、降低黏度、釋放可再加工片段」。在高固形物澱粉漿中，黏度往往是攪拌、泵送與熱交換的限制因素；當 α -澱粉酶在液化段切斷長鏈後，分子量下降，使系統流動性改善，進而有利於後續糖化或發酵步驟。以澱粉與水解路徑研究來看，不同酵素切割方式會改變澱粉顆粒多層次結構、酵素可及性與糊化性質^[7]。

為什麼耐高溫型對工業流程有意義？

澱粉加工常需要升溫，因為澱粉顆粒在充分吸水與受熱後會膨潤、糊化，使內部鏈段更容易暴露。若使用不耐熱酵素，流程必須在糊化後降溫才能加入酵素，這會增加時間、能耗與操作複雜度。耐高溫 α -澱粉酶的優勢，是可在較接近液化條件的環境下發揮作用，使「加熱糊化」與「酵素降黏」更容易整合^[8]。

熱穩定酵素在工業生物技術中的另一個價值，是提升流程韌性。大規模槽體中的溫度、剪切、停留時間與固形物分布不可能完全均一；若酵素對熱波動極為敏感，局部過熱就可能造成活性快速下降。耐高溫酵素雖仍會受條件影響，但相對能承受較嚴苛的熱歷史，對連續化或半連續化澱粉液化流程更有利^[9]。

高溫環境也可能降低部分微生物污染風險，特別是在含糖、含澱粉且營養豐富的製程中。不過，這不等於酵素可以取代衛生設計或製程控管；它的主要貢獻是讓水解反應可在較高溫操作窗口中進行，間接減少降溫等待時間與暴露機會^[1]。

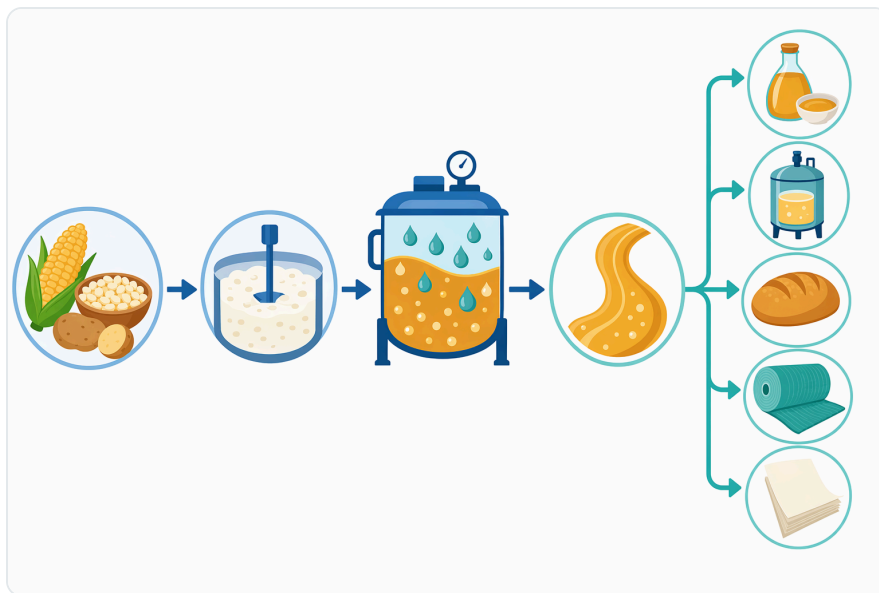


Figure 2. 耐熱性 α -澱粉酶適合加熱澱粉加工，因為糊化會使澱粉鏈暴露，而酶仍能保持足夠活性，使膨脹的澱粉糊液化。

與一般 α -澱粉酶、葡萄糖澱粉酶的功能比較

酵素類型	主要作用位置	主要產物傾向	製程角色	對耐高溫性的需求
耐高溫 α -澱粉酶	澱粉鏈內部 α -1,4 鍵	糊精、麥芽寡糖、 較短鏈段	液化、降黏、糖化前 處理	高，因常配合糊化與熱液化 條件

酵素類型	主要作用位置	主要產物傾向	製程角色	對耐高溫性的需求
一般 α -澱粉酶	澱粉鏈內部 α -1,4 鍵	糊精與寡糖	中低溫水解、食品或 配方用途	視應用而定；高溫流程可能 受限
葡萄糖澱粉酶	非還原端逐步 切割	葡萄糖為主	糖化、提高可發酵糖	通常接在液化之後，條件需 與前段相容
支鏈相關酵 素	分支點或鏈長 重組	特定寡糖或改質澱 粉	產物結構調控	視目標產物與製程設計而定

α -澱粉酶與葡萄糖澱粉酶常被放在同一澱粉糖流程中，但兩者的任務不同。 α -澱粉酶先讓高分子澱粉變成低黏度糊精；葡萄糖澱粉酶再從鏈端釋放葡萄糖。以 suweg 澱粉水解研究為例， α -澱粉酶與葡萄糖澱粉酶混合使用時，反應動力學與糖生成會受到酵素組合與底物狀態共同影響^[2]。這也說明單一酵素通常不是完整澱粉轉化流程的全部答案。

若目標不是葡萄糖，而是特定麥芽寡糖，則可能使用生成特定聚合度產物的澱粉酶或搭配支鏈酶。近期研究顯示，特定 maltohexaose-forming amylase 與 branching enzyme 的協同作用可改善澱粉轉化為特定麥芽寡糖的選擇性^[10]。這類研究提醒使用者：耐高溫 α -澱粉酶非常適合液化與降黏，但最終糖譜仍取決於後續酵素系統與製程條件。

主要應用一：澱粉液化與糖漿製程前段

在澱粉糖工業中，耐高溫 α -澱粉酶的典型角色是液化。原料澱粉經調漿與加熱後黏度上升，若沒有即時降黏，會影響攪拌、泵送、熱交換與均質性。加入 α -澱粉酶後，澱粉長鏈被切短，漿料黏度下降，後續糖化酵素才更容易進一步作用^[11]。

以木薯廢澱粉製備葡萄糖漿的研究為例， α -澱粉酶可作為較溫和的生物催化途徑，將含澱粉廢物流轉化為有用糖源，呈現綠色製程與資源再利用的潛力^[11]。這類研究的重點不只是糖產量，也包括以酵素替代較嚴苛化學處理的可能性，降低副產物生成與後處理壓力。

不同植物澱粉的反應性差異很大。gadung 澱粉水解至葡萄糖的研究顯示， α -澱粉酶處理可改變水解曲線與糖釋放，但最終結果仍受底物來源與水解條件影響^[12]。因此，在商業製程中，耐高溫 α -澱粉酶應被視為「液化平台工具」，而不是保證任何澱粉原料都產生相同糖譜的單一解法。

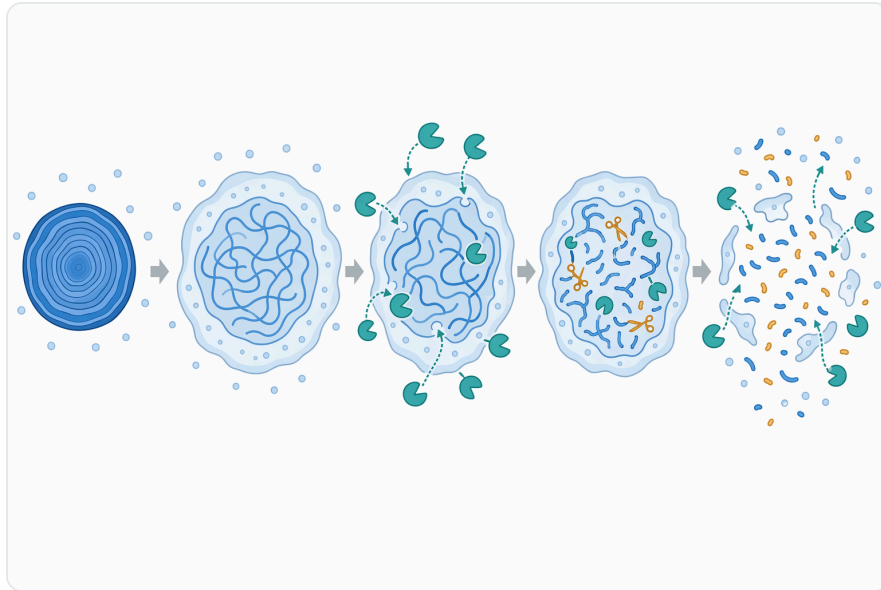


Figure 3. 初始水解可形成孔隙並暴露更多澱粉鏈，使酶能逐步進入顆粒結構並持續作用。

主要應用二：酒精、燃料乙醇與發酵原料製備

以澱粉為碳源的發酵流程，通常需要先將澱粉轉化為酵母或微生物可利用的糖。耐高溫 α -澱粉酶可在前段降低澱粉漿黏度並生成可進一步糖化的糊精，使後續葡萄糖生成與發酵更順暢。對高固形物發酵而言，前段降黏尤其重要，因為黏度會影響混合、傳熱、氧或二氧化碳傳遞，以及槽體有效利用率 [8]。

在工業實務中， α -澱粉酶不直接決定乙醇產率；它影響的是可糖化底物的形成速度與漿料處理性。若液化不足，後段糖化酵素接觸受限，發酵糖供應可能延遲；若液化過度或條件不相容，也可能增加不必要的停留時間或影響下游控制。文獻對熱穩定酵素的整理指出，將酵素特性與製程條件匹配，是工業生物催化能否穩定放大的關鍵 [9]。

主要應用三：紡織去漿與含澱粉廢水處理

紡織上漿常使用澱粉或改質澱粉作為紗線保護與強化材料；染整前若澱粉去除不完全，會影響吸水性、染色均勻性與後續整理品質。 α -澱粉酶可水解澱粉漿料，使其轉為較易洗除的糊精與寡糖，因此是酵素去漿的重要工具。針對 *Bacillus amyloliquefaciens* 來源 α -澱粉酶的研究，已將其應用連結到紡織去漿與工業廢水處理，顯示此類酵素在非食品場景同樣具實務意義 [13]。

對廢水或副產物流而言， α -澱粉酶的作用是降低大分子澱粉負荷，使後續生物處理或資源化更容易進行。若廢物流中含有大量糊化澱粉、麵粉殘渣或食品加工殘留物，酵素水解可改善可溶性與可生物降解性。不過，實際對 COD、黏度或沉降性的改善幅度，仍取決於廢物流組成、停留時間與後段處理系統 [13]。

主要應用四：食品、烘焙與澱粉質材料改質

在食品與烘焙中， α -澱粉酶可調節澱粉降解程度，進而影響麵糰流變、發酵糖供應、產品體積、柔軟度與老化速度。這類應用通常需要精細控制，因為澱粉過度水解可能導致組織黏塌或口感改變；不足則可能看不到明顯效果。對含澱粉植物飲品的研究顯示，糊化與酵素水解方式會影響澱粉、糖與物理化學特性，這對豆類或替代蛋白飲品開發特別相關^[14]。

澱粉材料改質也是近年研究焦點。例如玉米澱粉薄膜經酵素水解最佳化後，可改變薄膜機械性質，應用於較永續的食品包裝材料開發^[15]。此類應用與糖漿製程不同，目標不是最大化糖釋放，而是利用受控水解改變聚合物網絡、成膜性、孔隙與機械強度。

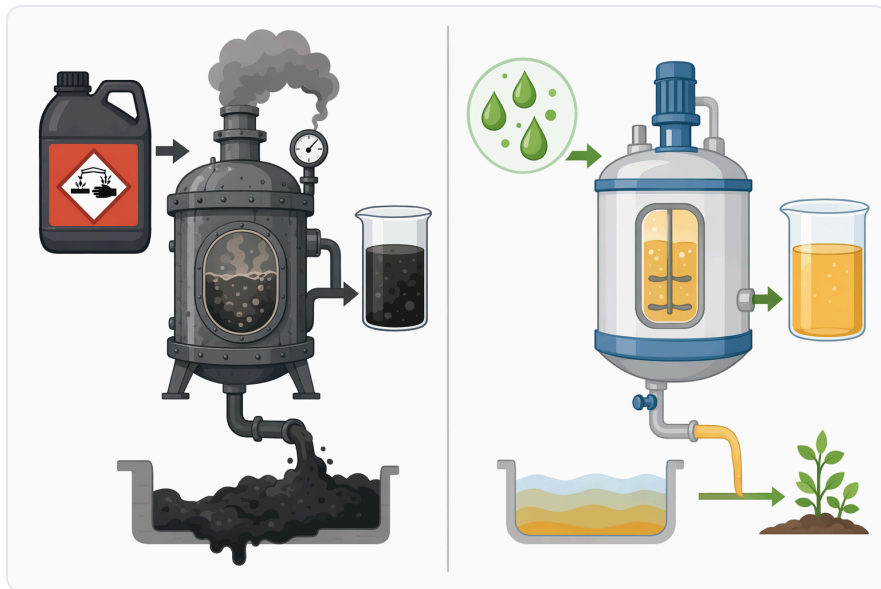


Figure 4. α -澱粉酶最不同於 β -澱粉酶、葡萄糖澱粉酶與脫支酶之處，在於其能快速進行鏈內切割並產生液化效果。

多孔澱粉製備也常用 α -澱粉酶與葡萄糖澱粉酶搭配。arrowroot 澱粉經雙酵素水解可形成多孔結構，這類材料可用於吸附、包埋或作為功能性載體^[16]。這些研究顯示，耐高溫 α -澱粉酶除傳統液化外，也可被納入更精細的澱粉結構工程。

影響水解效率的關鍵因素

第一個因素是澱粉來源與顆粒結構。米澱粉、木薯澱粉、玉米澱粉、豆類澱粉與未成熟香蕉粉中的澱粉，具有不同粒徑、結晶型態、直鏈澱粉比例與非澱粉成分。未成熟香蕉粉與其澱粉對酵素水解具有多因素抗性，包含顆粒結構、基質包埋與抗性澱粉特徵^[17]。因此，不能只用「澱粉含量」判斷水解難易。

第二個因素是糊化與前處理。高剪切、冷等離子、超音波熱效應等前處理都可能改變澱粉顆粒表面、孔隙與結晶區，進而提升或改變酵素水解行為。米多孔澱粉研究顯示，高速剪切與雙酵素水解會共同影響結構與物理化學性質^[18]；木薯澱粉經射頻空氣冷電漿造成多尺度結構破壞後，也會加速後續酵素水解與改質反應^[19]。

第三個因素是澱粉與其他配方成分的交互作用。食品或工業漿料中常含有膠體、蛋白質、脂質、鹽類或水膠，這些成分可能包覆澱粉、改變糊化行為或限制酵素接觸。澱粉—水膠交互作用研究指出，這類相互作用會改變糊化性質與酵素水解表現^[20]。因此，實際製程中的水解效率常低於簡化澱粉模型系統。

第四個因素是抗性澱粉與複合物形成。RS-5 型抗性澱粉的研究顯示，脂質—澱粉複合或特定多層結構會阻礙酵素進入可水解位置，形成對酵素水解的抗性^[21]。若原料含有大量抗性澱粉或經過熱加工形成複合結構，單純增加酵素接觸不一定能等比例提高轉化率。



Figure 5. 耐熱性 α -澱粉酶廣泛應用於液化、食品與飲料加工、紡織退漿、富含澱粉殘渣的處理、清潔，以及飼料或生質應用。

耐熱性的分子基礎：為何蛋白質能承受熱製程？

酵素是蛋白質，活性來自精確的三維結構；高溫會增加分子運動，可能造成局部展開、活性位點變形或不可逆聚集。耐高溫酵素之所以能在較嚴苛條件下作用，通常是因為其結構具備更高的摺疊穩定性。蛋白質工程綜述指出，常見策略包括增加鹽橋與氫鍵網絡、優化疏水核心、縮短柔性迴圈、強化金屬結合或減少易展開區域^[5]。

對 α -澱粉酶而言，鈣離子結合區域在許多家族成員中與穩定性相關，但不同酵素的依賴程度不完全相同。熱穩定 α -澱粉酶與漆酶的綜述指出，嗜熱酵素在永續工業應用中受到重視，原因正是其能在高溫、較低污染風險與較高反應速率的條件下提供可行的生物催化方案^[1]。不過，耐熱性不能單獨保證最佳表現，還需與 pH、底物狀態與配方相容。

熱穩定性也可透過演化與篩選得到。嗜熱細菌與熱泉環境中的微生物常產生具工業潛力的耐熱酵素與多醣，相關研究顯示極端或高溫環境是尋找穩定生物催化劑的重要來源^[22]。這類生物多樣性研究提供了耐高溫 α -澱粉酶發展的科學背景。

製程導入時的操作思維

耐高溫 α -澱粉酶最適合放在澱粉糊化後或糊化進行中的液化段，目標是快速降低黏度並產生後續可糖化的糊精。實務上應將它視為製程整合元件：需要考慮原料澱粉種類、加熱曲線、剪切條件、固形物含量、pH、鹽類、下游糖化酵素或發酵微生物的相容性^[8]。

若製程目標是葡萄糖漿， α -澱粉酶通常是前段，而葡萄糖澱粉酶才是提高葡萄糖比例的核心。若目標是麥芽寡糖或特定功能性糖，則需要考慮產物鏈長控制、分支結構與後續酵素組合。近年特定麥芽寡糖生成酵素與支鏈酶協同研究，反映出澱粉水解已從單純降黏逐步走向產品結構設計^[10]。

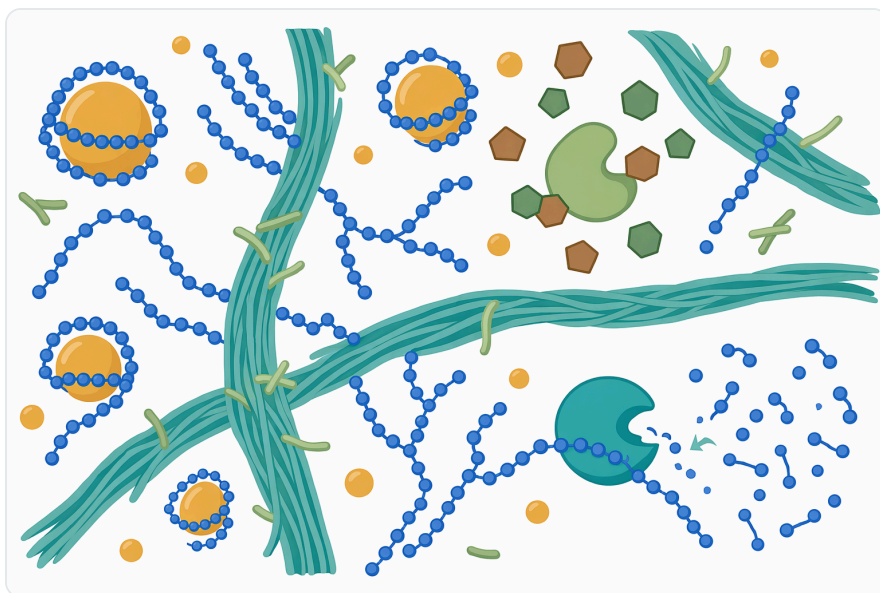


Figure 6. 實際原料基質可能透過限制酶與澱粉的接觸，或形成物理與化學屏障，而減緩 α -澱粉酶的作用。

若製程目標是紡織去漿或清洗，重點則是澱粉膜層是否充分溶出、纖維是否受損、後段水洗是否順暢，以及廢水負荷是否可被既有系統承接。*Bacillus* 來源 α -澱粉酶在去漿與廢水處理研究中的表現，支持其作為較溫和替代方案的可行性，但不同布種、漿料配方與染整流程仍會影響結果^[13]。

可期待的商業效益與限制

在澱粉液化中，最直接的效益是降黏。黏度降低後，槽體攪拌更均勻，泵送負荷下降，熱交換效率改善，並可降低局部過熱或結塊風險。對高固形物製程而言，這些改善往往比單純提高水解百分比更具操作價值，因為流動性會限制整條線的吞吐量與穩定性^[18]。

第二個效益是流程簡化。耐高溫 α -澱粉酶可減少從糊化溫度降到中低溫反應條件的需求，使加熱、液化與後段銜接更緊密。工業熱穩定酵素文獻指出，耐熱生物催化劑可降低冷卻需求、提升底物溶解與反應速率，這些因素在大規模生產中可能轉化為能源與時間效益^[9]。

第三個效益是產品一致性。當酵素能承受較高熱負荷，批次間因溫度波動造成的失活風險相對較低。這對糖漿、發酵原料與食品中間體尤其重要，因為前段水解差異會傳遞到後段糖譜、發酵速率或質地表現^[14]。

限制也必須明確說明。耐高溫 α -澱粉酶不會解決所有澱粉水解阻力；抗性澱粉、脂質複合物、蛋白質包埋、過高黏度、傳質不足或不相容的配方成分，仍可能降低效果。抗性澱粉與未成熟香蕉粉研究都顯示，酵素水解阻力是多因素現象，不能只用酵素耐熱性解釋^[17]。

與 Enzymes.bio 採購相關的文件與使用邊界

Enzymes.bio 供應 Starch Hydrolysis Enzyme Alpha Amylase Thermostable Enzyme，產品以 1 kg 單位在線上直接銷售。隨訂單提供的 CoA 可用於確認該批次隨附資訊，SDS 則用於儲存、操作、防護與安全管理。由於 Enzymes.bio 不是製造商或實驗室，本文不提供製造來源宣稱、活性單位數值、分析方法、活性定義或等級保證。

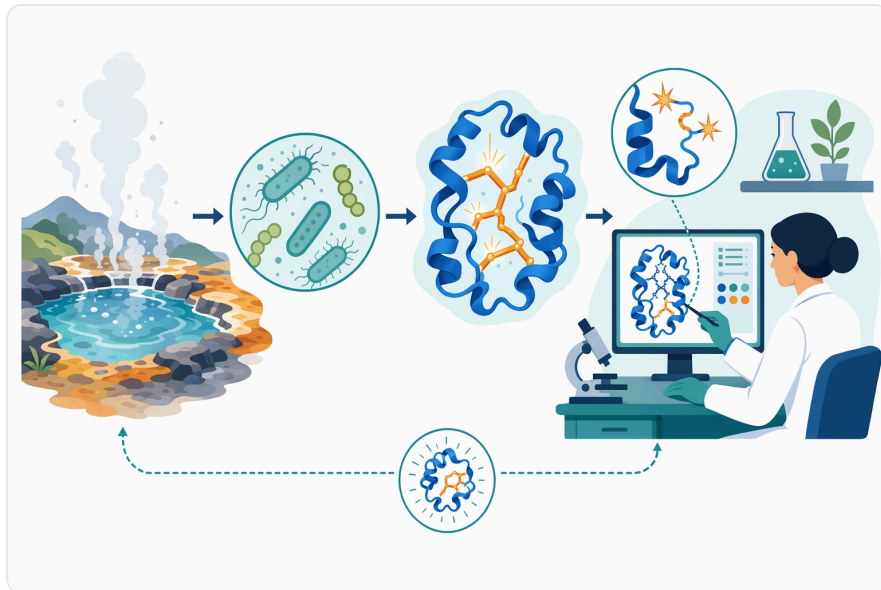


Figure 7. 耐熱性 α -澱粉酶與適應高溫的微生物有關，也可透過蛋白質工程加以改良。

食品、飼料、發酵、紡織或廢水用途可能受不同地區法規、客戶規格或內部品質制度約束。使用者應依自身產品類別與所在地要求，判斷此類酵素是否屬加工助劑、食品添加物、工業加工用酵素或其他管理類別。熱穩定酵素的工業可行性已有廣泛文獻支持，但合規分類與最終產品責任仍需依實際用途處理^[8]。

結論：適合高溫澱粉液化與工業降黏的酵素工具

耐高溫 α -澱粉酶是澱粉水解流程中的核心液化工具，特別適合需要加熱糊化、高固形物處理、快速降黏或與後續糖化銜接的製程。它的主要功能是切斷澱粉內部 α -1,4 鍵，產生糊精與寡糖，而不是單獨完成所有糖化需求^[3]。

其技術價值來自三個層面：第一，在較高溫度條件下保留可用催化能力；第二，快速降低澱粉漿黏度以改善操作性；第三，為葡萄糖、麥芽糖、麥芽寡糖、發酵糖源或去漿流程建立可控前處理。現有研究從熱穩定酵素工程、嗜熱微生物來源、澱粉結構與應用案例等面向，支持其作為工業澱粉加工中的成熟生物催化選項^[1]。

對 B2B 使用者而言，導入耐高溫 α -澱粉酶時應把重點放在原料結構、液化段條件、下游酵素或發酵系統，以及最終產品規格的整體匹配。Enzymes.bio 提供 1 kg 線上銷售與隨訂單提供的 CoA、SDS；本文則提供機制與應用背景，協助使用者在澱粉液化、糖漿製程、發酵原料、紡織去漿與澱粉質材料改質等場景中，理解此類酵素的合理用途與限制。

線上訂購 Starch Hydrolysis Enzyme Alpha Amylase Thermostable Enzyme

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 Starch Hydrolysis Enzyme Alpha Amylase Thermostable Enzyme →](#)

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. Jaiswal, N., & Jaiswal, P. (2024). Thermostable α -Amylases and Laccases: Paving the Way for Sustainable Industrial Applications. *Processes*.
2. Hargono, H., Jos, B., Budiyono, B., Sumardiono, S., Priyanto, S., Haryani, K., & Zakaria, M. (2020). Hydrolysis kinetic of suweg (Amorphophalluscampanulatus B) starch using a mixture of alpha amylase and glucoamylase.
3. М а т в е е в, Ю., & А в е р ь я н о в а, Е. В. (2022). ON THE MECHANISM OF PEA STARCH HYDROLYSIS BY ALPHA-AMYLASE DURING GERMINATION AND IN TECHNOLOGICAL PROCESSES. *Южно-Сибирский научный вестник*.
4. 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.
5. Nezhad, N. G., Rahman, R., Normi, Y. M., Oslan, S. N., Shariff, F. M., & Leow, T. (2022). Thermostability engineering of industrial enzymes through structure modification. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 106, 4845 - 4866.
6. Zhong, H., Yang, X., She, Y., Gan, G., Qiao, W., Li, C., & Chen, Z. (2024). Analysis of the relationship between starch molecular conformation and enzymatic hydrolysis efficiency. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132570 .
7. Zhang, B., Bai, Y., Li, X., Dong, J., Wang, Y., & Jin, Z. (2025). Mechanism analysis for the differences in multi-level structure, enzyme accessibility and pasting properties of starch granules caused by different hydrolysis pathways of maltogenic α -amylase. *Food Chemistry*, 471, 142789 .
8. Sharma, S., Vaid, S., Bhat, B., Singh, S., & Bajaj, B. (2019). Thermostable Enzymes for Industrial Biotechnology. *Advances in Enzyme Technology*.
9. Suresh, A., Ramgopal, D. S., Gopinath, K. P., Arun, J., SundarRajan, P., & Bhatnagar, A. (2020). Recent advancements in the synthesis of novel thermostable biocatalysts and their applications in commercially important chemoenzymatic conversion processes. *Bioresource Technology*, 323, 124558

10. Zhong, L., Wang, P., Jiang, M., Zheng, Y., Xu, X., Ye, X., Huang, Y., ... et al. (2025). Synergistic action of novel maltohexaose-forming amylase and branching enzyme improves the enzymatic conversion of starch to specific maltooligosaccharide. *Carbohydrate Polymers*, 347, 122753 .
11. Aderibigbe, F. A., Babatunde, E. O., Ochapa, S. O., & Saka, H. (2024). Green Synthesis for the Production of Glucose Syrup from Waste Cassava Starch Using Alpha-Amylase. *FUOYE Journal of Engineering and Technology*.
12. Agustina, U., Hasan, A., & Purnamasari, I. (2024). Hydrolysis profile of gadung (dioscorea hispida dennst) starch to glucose using alpha amylase enzyme. *Jurnal Teknik Kimia*.
13. Abd-Elhalim, B. T., Gamal, R., El-Sayed, S., & Abu-Hussien, S. H. (2023). Optimizing alpha-amylase from Bacillus amyloliquefaciens on bread waste for effective industrial wastewater treatment and textile desizing through response surface methodology. *Scientific Reports*, 13.
14. Akintayo, O., Falconer, R., Lauer, J. C., Cowley, J., & Bozkurt, H. (2025). The effect of gelatinisation and enzymatic hydrolysis methods on the starch, sugar and physicochemical profiles of faba bean milk. *International Journal of Biological Macromolecules*, 140898 .
15. Ghizdareanu, A., Banu, A., Pasarin, D., Afilipoaei, A. I., Nicolae, C., Gabor, A., & Pătroi, D. (2023). Enhancing the Mechanical Properties of Corn Starch Films for Sustainable Food Packaging by Optimizing Enzymatic Hydrolysis. *Polymers*, 15.
16. Witasari, L., Heryadi, A. A., Yani, A. I. T., Nisrina, S., & Pranoto, Y. (2024). Characterization of porous starch produced from arrowroot (Maranta arundinacea L.) by enzymatic hydrolysis with α -amylase and glucoamylase. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*.
17. Dibakoane, S. R., Silva, L. S., Meiring, B., Anyasi, T. A., Mlambo, V., & Wokadala, O. C. (2024). The multifactorial phenomenon of enzymatic hydrolysis resistance in unripe banana flour and its starch: A concise review. *Journal of Food Science*.
18. Xiao, W., He, H., Dong, Q., Huang, Q., An, F., & Song, H. (2023). Effects of high-speed shear and double-enzymatic hydrolysis on the structural and physicochemical properties of rice porous starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 123692 .
19. Du, Z., Li, X., Zhao, X., & Huang, Q. (2024). Multi-scale structural disruption induced by radio frequency air cold plasma accelerates enzymatic hydrolysis/ hydroxypropylation of tapioca starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129572 .
20. Impact of starch-hydrocolloid interaction on pasting properties and enzymatic hydrolysis. *Semantic Scholar* (2023).
21. Zhong, H., She, Y., Yang, X., Wen, Q., Chen, L., Wang, X., & Chen, Z. (2024). Analysis of the mechanism of resistance to enzymatic hydrolysis of RS-5 resistant starch. *Food Chemistry*, 452, 139570 .
22. Kambourova, M. (2018). Thermostable enzymes and polysaccharides produced by thermophilic bacteria isolated from Bulgarian hot springs. *Engineering in Life Sciences*, 18.


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。