

熱穩定 Alpha Amylase 用於高產率發酵：澱粉液化、糖化前處理與高溫製程應用

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

熱穩定 Alpha Amylase (熱穩定 α -澱粉酶) 主要用於澱粉質原料的高溫液化與發酵前處理，可將澱粉內部的 α -1,4 糖苷鍵切割成糊精與麥芽寡糖，降低黏度並提高後續糖化與發酵的可利用性。對乙醇、丁醇、有機酸、食品發酵與含澱粉廢物流而言，其價值不在於「單獨產生最高葡萄糖」，而在於讓高固形物、高黏度或熱處理後的澱粉漿料更快進入可發酵狀態。

Enzymes.bio 供應的 Thermostable Alpha Amylase For High Yield Fermentation 為線上販售的 1 kg 單位產品；Enzymes.bio 是供應商，並非製造商或實驗室，CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供。

產品定位：Thermostable Alpha Amylase 的主要應用

Thermostable Alpha Amylase For High Yield Fermentation 是面向澱粉基發酵流程的熱穩定 α -澱粉酶，適用於需要在較高溫或熱歷史較強條件下進行澱粉液化、降低黏度、提升後段糖化效率的製程。典型應用包括玉米、小麥、木薯、馬鈴薯、穀物副產物、食品廢物流與其他含澱粉原料的發酵前處理；這些原料若未經有效水解，發酵微生物往往只能利用其中一部分可溶性糖，造成殘澱粉、殘糊精與產率波動。生物乙醇文獻也指出，原料預處理與酵素水解效率是影響可發酵糖釋放與整體製程經濟性的核心環節之一 [1]。

在「高產率發酵」語境中，熱穩定 α -澱粉酶的任務可分成三層：第一，快速打開澱粉顆粒或糊化澱粉的長鏈結構；第二，降低漿料黏度，使攪拌、泵送、傳熱與固液接觸更穩定；第三，為葡萄糖澱粉酶、支鏈去分枝酶或發酵菌株提供更容易利用的短鏈底物。這與直接把澱粉完全轉成葡萄糖的「糖化酵素」角色不同； α -澱粉酶更接近前段液化與結構拆解工具，而完整發酵產率通常取決於多酵素組合、原料預處理與菌株代謝能力的共同作用 [2]。

α -澱粉酶如何促進澱粉基發酵

α -澱粉酶屬於內切型澱粉水解酵素，主要攻擊澱粉分子內部的 α -1,4 糖苷鍵，將直鏈澱粉與支鏈澱粉的線性區段切割成較短的糊精、麥芽寡糖與少量較小糖類。由於它從鏈內部隨機或半隨機切割，而不是從非還原端逐步釋放葡萄糖，因此可在短時間內造成分子量快速下降，這也是澱粉漿料黏度迅速降

低的原因。對高固形物發酵而言，黏度降低不只是操作便利，也會影響酵素與底物的接觸、熱傳均勻性、溶氧或厭氧環境控制，以及後續發酵槽的穩定運行 [3]。

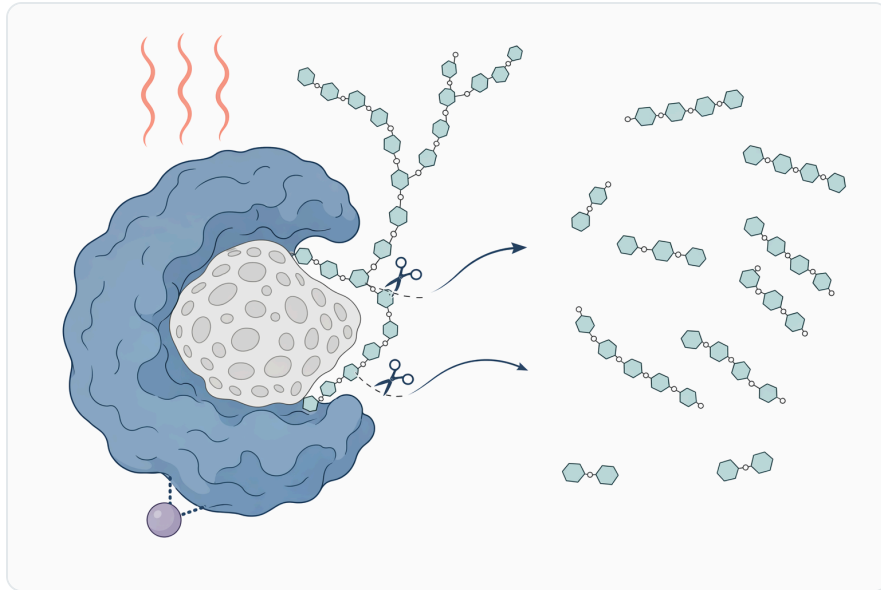


Figure 1. 耐熱性 α -澱粉酶在發酵上游發揮作用，切斷澱粉內部的 α -1,4 鍵，形成較短的糊精。

熱穩定版本的關鍵在於酵素蛋白在升溫、保溫或熱處理後仍能維持可用構形，不會過早變性失活。許多耐熱 α -澱粉酶來自嗜熱或耐熱微生物，例如 *Geobacillus*、*Bacillus*、*Streptomyces* 等來源的研究常被用來說明耐熱澱粉酶的結構與工業潛力；這類酵素通常具有較穩定的三維摺疊、較強的疏水核心、離子作用或金屬離子相關穩定性，使其能承受澱粉糊化或液化階段附近的嚴苛條件 [4]。

在發酵流程中，熱穩定 α -澱粉酶常位於「液化」或「同步糖化前段」位置。當澱粉經加熱吸水膨潤、結晶區鬆動後，酵素更容易進入鏈段並切割；若酵素能耐受該溫度區間，就能減少先降溫再加酵素的等待時間，並降低因黏度過高造成的混合死角。對乙醇、丁醇與其他厭氧發酵而言，前段水解越穩定，後段微生物取得可代謝糖的曲線通常越可控，進而減少糖釋放過慢或瞬間高糖造成的批次差異 [5]。

為什麼「熱穩定」對高產率製程特別重要

澱粉加工通常伴隨加熱，因為原生澱粉顆粒具半結晶結構，酵素對未處理顆粒的可及性有限。加熱糊化後，澱粉鏈展開，水解速率通常提高，但這也使一般不耐熱酵素容易失活。熱穩定 α -澱粉酶的實務價值，就是讓「糊化、降黏、初步水解」更接近同一熱流程完成，不必為了保護酵素而大幅犧牲操作溫度。生物乙醇相關預處理回顧指出，前處理與酵素水解的整合程度會顯著影響糖釋放效率、能耗與後段發酵可行性 [1]。

高溫操作也有微生物控制上的間接優勢。雖然熱穩定 α -澱粉酶本身不是防腐劑，也不取代清潔、滅菌或衛生管理，但較高溫液化階段可降低部分雜菌在前段快速增殖的機會。對高糖、高營養的澱粉漿料而言，污染會消耗糖、產酸、改變 pH，甚至抑制目標酵母或細菌；因此，能在較高溫製程中維持活性的酵素，常被視為降低發酵波動的工具之一 [6]。

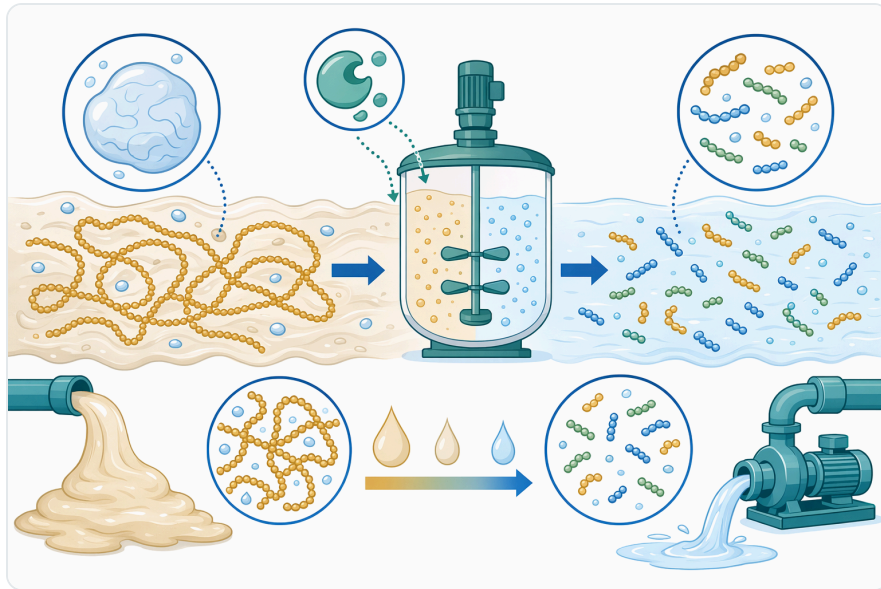


Figure 2. 將長鏈糊化澱粉切成較短片段，可減少造成醪液高黏度的纏結聚合物網絡。

此外，熱穩定性有助於處理原料差異。農業副產物、食品廢棄物、穀物粉、根莖澱粉與混合廢物流的含水量、蛋白質、脂質、纖維與灰分差異很大；若酵素對溫度變動較敏感，批次間表現容易被放大。食品廢棄物水解與乙醇發酵研究顯示，複雜基質中酵素水解步驟會直接影響可發酵糖生成與後續乙醇產生，因此前段酵素的穩定性與操作彈性是放大製程時的重要變因 [7]。

與一般 α -澱粉酶、葡萄糖澱粉酶與麥芽來源酵素的差異

熱穩定 α -澱粉酶不是所有澱粉水解工作的唯一答案，而是澱粉基發酵中常見的前段工具。若目標是快速降黏與產生可被後續酵素處理的糊精，它通常比單靠葡萄糖澱粉酶更適合前段；若目標是提高最終葡萄糖比例，則仍常需與葡萄糖澱粉酶或其他糖化酵素搭配。農業蒸餾物研究曾比較商業澱粉水解製劑與穀物麥芽在發酵結果與品質上的差異，顯示不同澱粉水解來源會影響糖釋放與發酵表現，而非只取決於是否「有澱粉酶」 [6]。

類型	主要作用位置	對發酵的典型貢獻	主要限制
熱穩定 α -澱粉酶	前段液化、高溫降黏、糊精生成	快速降低澱粉分子量，改善混合、傳熱與後續糖化	通常不負責完全轉成葡萄糖，對 α -1,6 分支作用有限

類型	主要作用位置	對發酵的典型貢獻	主要限制
一般 α -澱粉酶	中低溫澱粉水解或食品加工	可產生糊精與麥芽寡糖	在較高溫或長時間熱歷史下可能較易失活
葡萄糖澱粉酶	後段糖化，從鏈端釋放葡萄糖	提高可發酵葡萄糖濃度，常與 α -澱粉酶互補	對高黏度、長鏈未液化澱粉的前段處理效率受限
麥芽或粗酵素來源	傳統釀造、穀物發酵	可能同時提供多種酵素與風味貢獻	活性組成較複雜，受原料與製麥條件影響較大

從機制看， α -澱粉酶先把長鏈澱粉切成較短片段，可增加非還原端數量，讓葡萄糖澱粉酶有更多作用起點；若再搭配去分枝酵素，支鏈澱粉中的 α -1,6 分支障礙也可被降低。原澱粉水解與乙醇發酵研究常強調，不同酵素在澱粉結構上的作用位點不同，合理的酵素序列與組合會影響糖化深度與發酵結果 [2]。

在乙醇、丁醇與其他生物轉化中的應用邏輯

在乙醇發酵中，澱粉質原料通常需先經液化與糖化，才能被酵母有效轉成乙醇。熱穩定 α -澱粉酶的角色是把高分子澱粉拆解成可溶、低黏度、較易糖化的糊精池；後段再由糖化酵素釋放葡萄糖，或在同步糖化發酵中與酵母代謝同步進行。食品廢棄物乙醇發酵研究也顯示，酵素水解能把複雜食物基質中的多醣轉換成可發酵糖，進而支撐乙醇生成 [7]。

在 ABE 發酵或丁醇生產中，糖釋放速率同樣會影響菌株代謝。若澱粉水解太慢，菌體可能受到底物限制；若糖釋放過快且累積過高，可能改變滲透壓、酸生成與溶劑生成轉換。同步糖化與發酵應用於玉米澱粉生產生物丁醇的研究指出，酵素糖化與微生物發酵的整合會影響整體生產表現，因此前段水解不只是把澱粉變糖，而是調整底物供應動態 [5]。

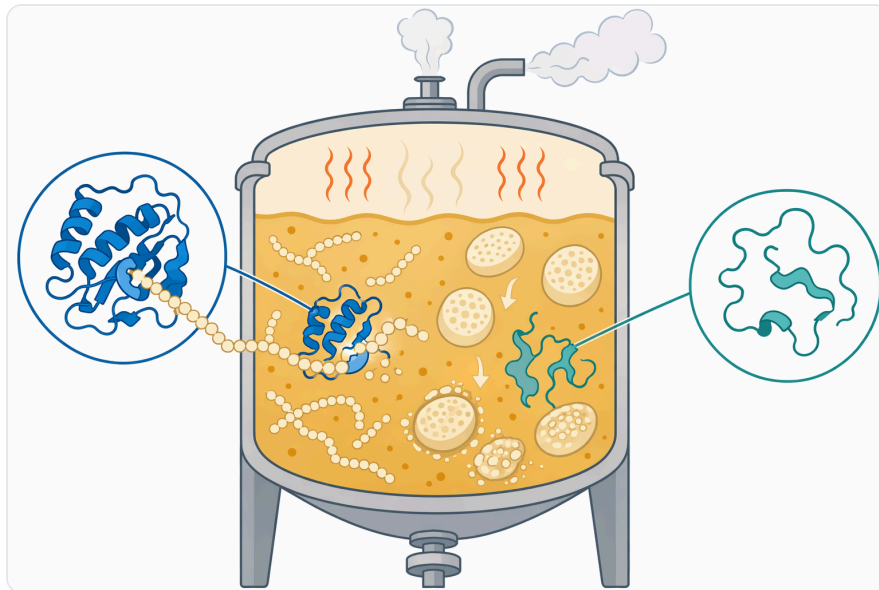


Figure 3. 在高溫澱粉加工條件下，耐熱性 α -澱粉酶能較長時間維持具功能的摺疊結構。

除了酒精類產品，澱粉水解也可支援氫氣、琥珀酸與其他微生物代謝物生產。以 α -澱粉酶進行澱粉生物轉化的研究顯示，當澱粉被有效拆解後，可作為多種發酵路徑的碳源；差異在於下游菌株對寡糖、葡萄糖與發酵條件的需求不同 [8]。因此，熱穩定 α -澱粉酶較像是平台型前處理工具，可服務於多種高產率發酵，而不是只限於單一終產品。

原料型態：從精製澱粉到食品廢物流

精製玉米澱粉、木薯澱粉與馬鈴薯澱粉的組成相對清楚，較容易建立穩定液化條件；但工業發酵常為了成本與永續性使用副產物或廢物流，例如麵包、米飯、穀物加工殘料、含澱粉廢水或混合食品廢棄物。這類原料不只含澱粉，也含蛋白質、脂質、纖維、鹽分與熱加工副產物，會影響澱粉可及性、pH 緩衝能力與酵素穩定性。食品廢棄物水解研究即顯示，複合基質中的酵素水解條件與發酵表現密切相關 [7]。

木薯、馬鈴薯等根莖澱粉常具有不同顆粒大小、支鏈比例與糊化行為，處理條件不能完全等同於穀物澱粉。木薯澱粉改質研究指出，澱粉經物理或化學處理後，其理化性質與膨潤、擴展能力會改變；這提醒發酵前處理設計必須考慮澱粉來源與加工歷史，而非只用單一溫度或單一酵素策略概括所有基質 [9]。

對小米、麥芽與其他穀物系統而言，天然發芽或發酵過程本身也會帶來澱粉水解酵素活性。小米發芽與發酵研究顯示，技術處理會造成澱粉水解相關的生化變化，並影響粗酵素萃取物對澱粉的作用 [10]。在現代工業流程中，商業熱穩定 α -澱粉酶的優勢是組成較集中、操作意圖清楚，適合用於需要可控液化效果的發酵前段。

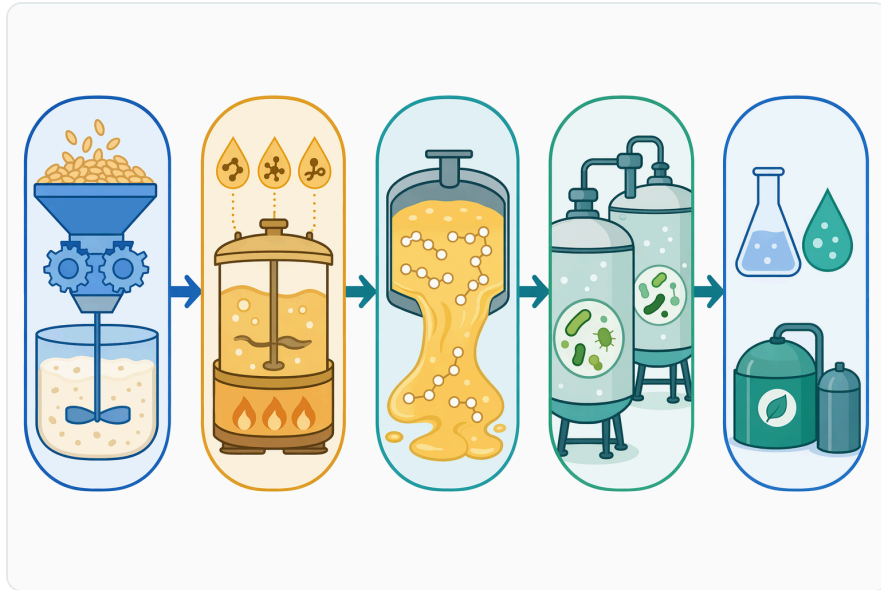


Figure 4. 澱粉發酵通常將 α -澱粉酶的液化步驟，與搭配酵素進行的糖化及微生物發酵分開。

操作條件的製程觀點：溫度、pH、離子與停留時間

熱穩定 α -澱粉酶的最佳表現取決於溫度、pH、底物濃度、固形物含量、剪切、停留時間與離子環境。不同來源的耐熱 α -澱粉酶會有不同的最適區間與失活曲線；例如 *Geobacillus* 與 *Streptomyces* 來源的熱穩定 α -澱粉酶研究，皆著重於描述其耐熱性、pH 行為與工業條件下的穩定表現，但這些數據屬於特定酵素與實驗條件，不能直接外推到所有商用品 [11]。

金屬離子也是常見變因。許多 α -澱粉酶結構中存在與鈣離子或其他離子相關的穩定區域，這些作用可幫助維持活性位點附近構形，降低熱擾動造成的失活。不過，實際製程中的水質、鹽分、螯合物、清潔劑殘留、原料灰分與添加物，都可能改變離子可用性與酵素表現；因此，熱穩定不等於對所有化學環境都不敏感 [4]。

pH 控制同樣重要。澱粉水解會改變可溶性寡糖分布，而發酵菌株也會產酸或消耗緩衝鹽；若液化階段與發酵階段共用同一槽體，pH 變動可能同時影響酵素與微生物。可溶性馬鈴薯澱粉以葡萄糖澱粉酶建立發酵進料的反應器模擬與控制研究顯示，澱粉水解反應器的動態控制會影響糖濃度曲線與後續製程穩定性，這個觀點同樣適用於 α -澱粉酶主導的前段液化 [12]。

與下游酵素和微生物的協同

熱穩定 α -澱粉酶通常與葡萄糖澱粉酶形成前後段互補：前者快速液化，後者提高葡萄糖釋放。若原料支鏈澱粉比例高，或希望降低極限糊精殘留，流程中也可能搭配去分枝酵素。這種組合的邏輯，是先降低聚合物長度與黏度，再提高可發酵單糖或短糖的比例；原澱粉水解與乙醇發酵文獻即呈現了澱粉酶系統與糖化酵素在發酵效率上的互補性 [2]。

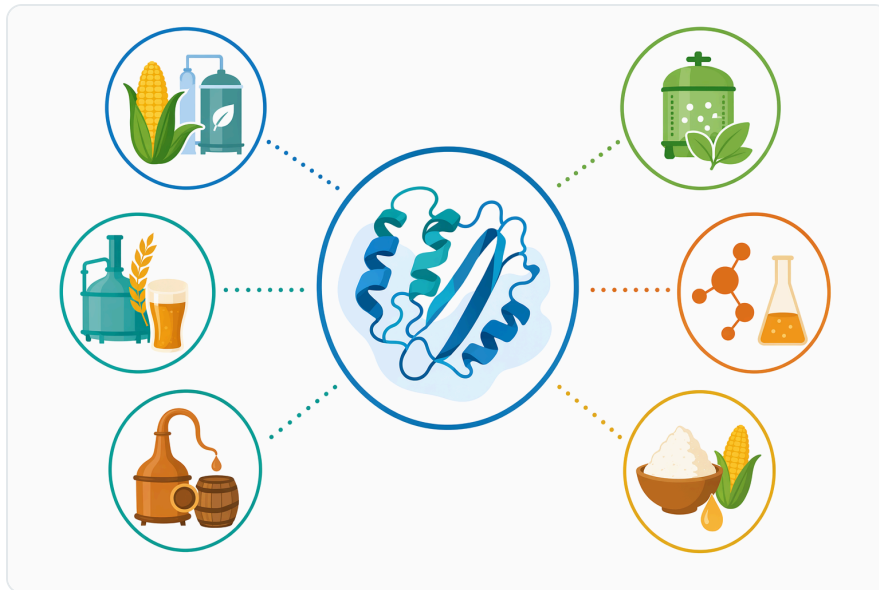


Figure 5. 耐熱性 α -澱粉酶適用於富含澱粉的原料，例如玉米、小麥、木薯、稻米、大麥、馬鈴薯、甘薯以及含澱粉殘渣。

若採用同步糖化與發酵，酵素溫度需求與微生物生長溫度需求往往不同。熱穩定 α -澱粉酶可讓前段在較高溫快速液化，再降到菌株適合的發酵條件；也可在部分整合流程中於折衷條件下持續釋放底物。玉米澱粉同步糖化發酵生產生物丁醇的研究指出，糖化與發酵同時進行可改變底物供應與產物生成行為，但是否提高產率取決於菌株、酵素與操作條件的匹配 [5]。

在乙醇以外的應用中，下游微生物可能偏好不同糖譜。有些菌株能利用麥芽糖與寡糖，有些則高度依賴葡萄糖；有些在高糖環境表現佳，有些則受滲透壓或代謝抑制影響。 α -澱粉酶自展示於大腸桿菌並用於澱粉轉化為氫氣、乙醇與琥珀酸的研究，說明澱粉水解平台可連接不同發酵終產品，但糖釋放與菌株代謝必須共同設計 [8]。

研究證據如何支持工業使用

關於熱穩定 α -澱粉酶的研究大致可分為三類：酵素來源與特性描述、發酵或生物轉化應用、以及低成本基質或固態發酵生產酵素的研究。Geobacillus sp. DS3 的熱穩定 α -澱粉酶純化與特性分析，屬於第一類，重點在說明嗜熱菌來源酵素具備高溫條件下的工業潛力 [4]。Streptomyces megasporus 來源耐熱 α -澱粉酶研究則顯示，不同微生物門類也能提供耐熱澱粉水解能力 [11]。

第二類證據來自澱粉水解與發酵整合。澱粉原料經酵素水解後，可支援乙醇、丁醇、氫氣、有機酸等不同發酵路徑；這些研究不一定都使用同一種商用熱穩定 α -澱粉酶，但共同證明了「有效澱粉水解是高產率發酵的前提」。例如暗發酵與光發酵結合利用澱粉原料生產氫氣的可行性研究，即把酵素水解視為將澱粉轉成可發酵基質的關鍵步驟 [13]。

第三類證據關注酵素生產與成本。Bacillus amyloliquefaciens、Bacillus subtilis 與其他細菌的固態發酵研究，常利用農業殘渣或副產物作為基質來優化耐熱 α -澱粉酶生產，顯示此類酵素已長期被視為工業上具實用價值的澱粉加工工具 [14]。不過，生產條件研究不等於特定商用品規格；在應用端，更重要的是理解酵素功能如何配合自己的原料與發酵流程。

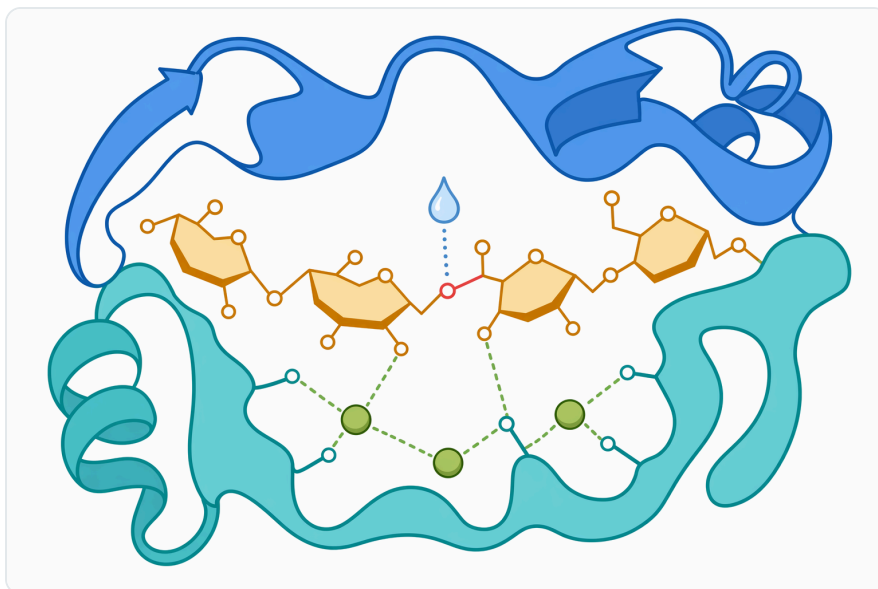


Figure 6. 鈣等金屬離子可協助穩定 α -澱粉酶中支持受質辨識與催化作用的結合區域。

可帶來的製程效益與邊界

熱穩定 α -澱粉酶最直接的效益是縮短液化時間、降低澱粉漿黏度、提高後續糖化可及性，並讓熱處理與酵素處理更容易整合。當發酵原料含有高比例澱粉，且前段攪拌、泵送或傳熱受黏度限制時， α -澱粉酶的降黏效應往往比單純增加可溶糖更早被觀察到。生物乙醇製程回顧指出，酵素水解效率與預處理設計是提高整體轉換效率的重要方向 [1]。

但它也有明確邊界。 α -澱粉酶不會解決所有多醣問題；纖維素、半纖維素、果膠或海藻多醣需要不同酵素系統。海藻生物乙醇製程選擇回顧便指出，不同生物質的多醣組成差異會決定水解與發酵策略，不能把澱粉酶策略直接套用到非澱粉原料 [15]。因此，若原料主要碳水不是澱粉，熱穩定 α -澱粉酶只能處理其中澱粉部分。

另一個邊界是「高產率」並不只由酵素決定。發酵產率同時受菌株、營養鹽、抑制物、滅菌控制、氧化還原條件、終產物抑制與分離回收影響。商業澱粉水解製劑與穀物麥芽比較研究顯示，發酵結果與蒸餾物品質會受到澱粉水解方案影響，但成品品質與產率仍是整體工藝的結果 [6]。因此，熱穩定 α -澱粉酶應被視為提高前段底物可利用性的關鍵工具，而不是單一保證產率的添加物。

儲存、文件與線上購買資訊

Thermostable Alpha Amylase For High Yield Fermentation 以 1 kg 單位在線上銷售，適合已有發酵、澱粉液化或生物轉化流程的使用者，將其納入既有原料前處理或糖化段評估。Enzymes.bio 的角色是供應商，不是製造商，也不是第三方檢測或研發實驗室；因此，產品頁與技術文件的重點在於協助理解酵素功能、應用場景與文獻脈絡，而非宣稱特定製造條件或實驗室方法。

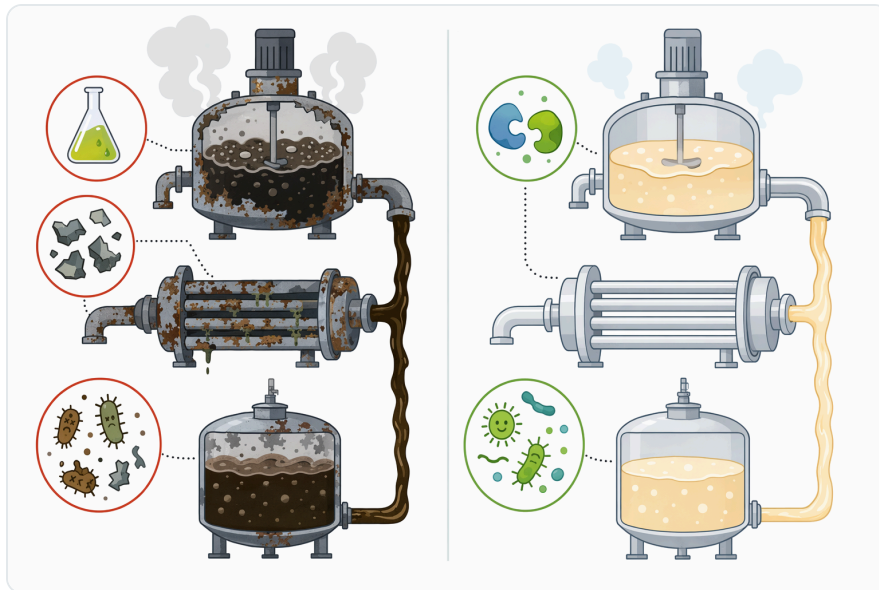


Figure 7. α -澱粉酶主要用於液化澱粉，而葡萄糖澱粉酶、脫支酶與 β -澱粉酶則在後續碳水化合物轉化中扮演不同角色。

CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，用於收貨後的內部品質、文件歸檔與安全管理。熱穩定代表酵素在特定操作條件下較能承受熱處理，但不等同於可忽略儲存條件；實際保存、搬運與安全處置仍應依隨貨文件與企業內部規範進行。對發酵廠、食品加工廠與生物轉化使用者而言，最實際的導入方式，是把它放在澱粉液化與糖化流程中評估其對黏度、糖譜、發酵速率與殘澱粉的影響，而不是只看單一酵素名詞。

結論：熱穩定 α -澱粉酶是澱粉基高產率發酵的前段效率工具

熱穩定 Alpha Amylase 的核心價值，是在較高溫與工業條件變動下維持澱粉內切水解能力，快速降低澱粉漿料黏度並產生可進一步糖化的糊精與寡糖。對乙醇、丁醇、有機酸、氫氣、食品發酵與含澱粉廢物流而言，它能改善底物可利用性，使後段糖化酵素與發酵微生物更容易取得穩定碳源 [5]。

文獻證據支持耐熱 α -澱粉酶在澱粉液化、工業發酵前處理與多種生物轉化中的重要性，但實際效益仍取決於原料澱粉結構、熱處理歷史、pH、離子環境、下游酵素組合與菌株需求。當製程痛點集中在高黏度、糖釋放不足、批次差異或熱處理後酵素失活時，Thermostable Alpha Amylase For High Yield Fermentation 是值得納入澱粉基發酵流程的關鍵酵素工具。

線上訂購 Thermostable Alpha Amylase For High Yield Fermentation

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 Thermostable Alpha Amylase For High Yield Fermentation →](#)

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. 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(13), 4851-61.
2. Xu, Q., Yan, Y., & Feng, J. (2016). Efficient hydrolysis of raw starch and ethanol fermentation: a novel raw starch-digesting glucoamylase from *Penicillium oxalicum*. *Biotechnology for Biofuels*, 9.
3. Mansuri, J., Dadheech, T., Chauhan, P. S., Thakkar, A. B., Rank, D., Joshi, C. G., Patel, H., ... et al. (2026). Cloning, molecular modelling, and docking analysis of GH-13 alpha-amylase from rumen metagenome for saccharification of starch rich biomass for greener future. *Biocatalysis and Biotransformation*, 44, 45 - 62.
4. Widiana, D., Phon, S., Ningrum, A., & Witasari, L. (2022). Purification and characterization of thermostable alpha-amylase from *Geobacillus* sp. DS3 from Sikidang Crater, Central Java, Indonesia. *Indonesian Journal of Biotechnology*.
5. Wang, M., Zhang, Q., Gao, H., & Cao, C. (2023). Simultaneous saccharification and fermentation for biobutanol production from corn starch via ABE fermentation. *BioResources*.
6. Balcerek, M., Pielech-Przybylska, K., Strąg, E., Patelski, P., & Dziekońska, U. (2016). Comparison of fermentation results and quality of the agricultural distillates obtained by application of commercial amylolytic preparations and cereal malts. *European Food Research and Technology*, 242, 321-335.
7. Moon, H., Song, I., Kim, J. C., Shirai, Y., Lee, D. H., Kim, J. K., Chung, S., ... et al. (2009). Enzymatic hydrolysis of food waste and ethanol fermentation. *International Journal of Energy Research*, 33.
8. Gutiérrez-García, A. K., Alvarez-Guzmán, C. L., & León-Rodríguez, A. D. (2020). Autodisplay of alpha amylase from *Bacillus megaterium* in *E. coli* for the bioconversion of starch into hydrogen, ethanol and succinic acid. *Enzyme and Microbial Technology*, 134, 109477.
9. Sumardiono, S., Putri, A., Jos, B., & Pudjihastuti, I. (2019). Effect of Modification Processes on Cassava Starch: Physicochemical Properties and Expansion Ability of Coated Penute. *Journal of Physics: Conference Series*, 1295.

10. Kouakou, B., Alexis, K., Adjéhi, D., Marcelin, D. K., & Dago, G. (2008). Biochemical Changes Occurring During Germination and Fermentation of Millet and Effect of Technological Processes on Starch Hydrolysis by the Crude Enzymatic Extract of Millet. *The Journal of Applied Sciences Research*, 1502-1510.
11. Dey, S., & Agarwal, S. (1999). Characterization of a thermostable alpha-amylase from a thermophilic *Streptomyces megasporus* strain SD12.. *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics*, 36 3, 150-7 .
12. Fonseca, R. R., Dantas, T., & Silva, F. V. D. (2015). SIMULATION AND CONTROL OF ENZYMATIC HYDROLYSIS REACTOR OF SOLUBLE POTATO STARCH BY ASPERGILLUS NIGER GLUCOAMYLASE FOR FERMENTATION PROCESS FEED.
13. Lo, Y., Chen, S., Chen, C., Huang, T. I., Lin, C., & Chang, J. (2008). Combining enzymatic hydrolysis and dark-photo fermentation processes for hydrogen production from starch feedstock: A feasibility study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33, 5224-5233.
14. Rai, S., & Solanki, M. K. (2014). Optimization of thermostable alpha-amylase production via mix agricultural-residues and *Bacillus amyloliquefaciens*.. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj- napoca*, 6, 105-111.
15. Offei, F., Mensah, M., Thygesen, A., & Kemausuor, F. (2018). Seaweed Bioethanol Production: A Process Selection Review on Hydrolysis and Fermentation. *Fermentation*.


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。