

Thermostable Alpha Amylase Enzyme 用於工業乙醇生產：耐高溫 α -澱粉酶的澱粉液化與降黏應用

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

Thermostable Alpha Amylase Enzyme (耐高溫 α -澱粉酶) 主要用於澱粉基工業乙醇製程的液化階段，將糊化後的高分子澱粉內切成較短糊精與寡糖，降低漿料黏度並提高後續糖化、發酵的可操作性。相較於一般澱粉酶，耐高溫 α -澱粉酶可在熱處理後段或高溫液化條件下維持功能，因此常被視為玉米、米、木薯、穀物副產物等澱粉原料轉化為乙醇前處理的核心酵素之一 [1]。Enzymes.bio 供應的此類產品以 1 kg 單位在線上銷售，適合需要將耐熱澱粉液化酵素整合進既有乙醇或澱粉加工流程的企業使用；CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供。

產品定位：用於澱粉液化的耐高溫 α -澱粉酶

Thermostable Alpha Amylase Enzyme For Industrial Ethanol Production 指的是一類以工業澱粉液化為主要用途的耐熱 α -澱粉酶產品。 α -澱粉酶屬於內切型澱粉水解酵素，作用目標是澱粉分子中的 α -1,4 糖苷鍵；它不需要從鏈端逐一切割，而是可在澱粉長鏈內部多點水解，因此能快速降低直鏈澱粉與支鏈澱粉糊化後形成的高黏度網絡 [2]。

在工業乙醇生產中，澱粉不能直接被一般釀酒酵母有效利用，必須先經過糊化、液化與糖化等步驟，逐步轉為可發酵糖。 α -澱粉酶負責前段液化：把高分子澱粉切成可溶性糊精、麥芽寡糖與其他短鏈片段；後段則通常由葡萄糖澱粉酶等外切型酵素將糊精進一步轉為葡萄糖，再供酵母或其他發酵微生物產生乙醇 [3]。

「耐高溫」的價值在於它能配合澱粉糊化後的熱流程。澱粉顆粒在加熱吸水後膨潤、破裂並釋放聚醣鏈，此時可及性提高，但黏度也急遽上升；若酵素能在此熱段介入，就能及早切斷長鏈，改善攪拌、泵送與熱交換條件，降低因高黏度造成的製程瓶頸 [1]。

工業乙醇製程中的核心痛點：高黏度、轉換效率與流程銜接

澱粉基乙醇廠面對的第一個工程問題通常不是「能不能水解澱粉」，而是「高固形物漿料能不能被穩定處理」。當玉米粉、碎米、珍珠粟或其他澱粉性原料進入熱處理時，糊化澱粉會迅速增稠；黏度過高會增加攪拌功耗、降低傳熱效率，也可能造成管線、泵浦與換熱設備負荷上升 [3]。

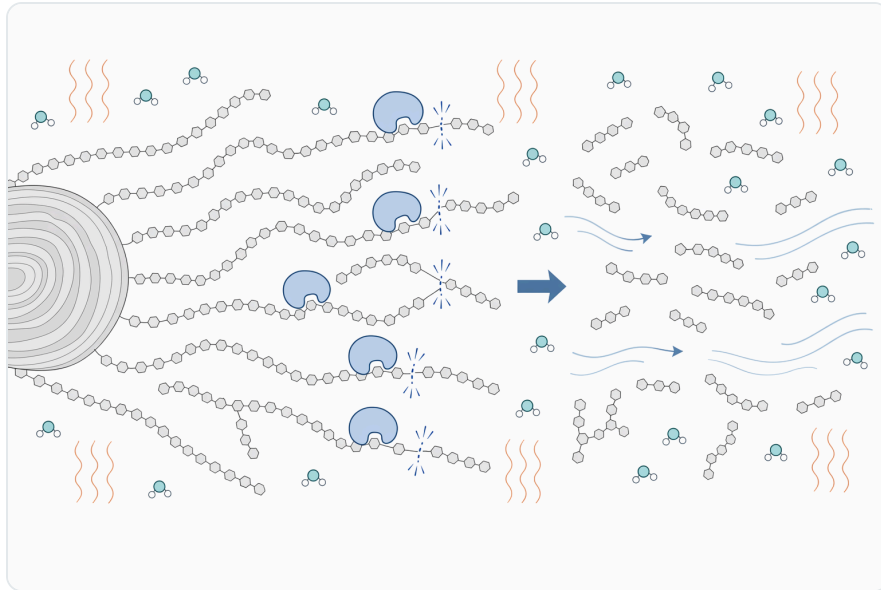


Figure 1. 耐熱性 α -澱粉酶會切割直鏈澱粉與支鏈澱粉內部的 α -1,4 糖苷鍵，將澱粉液化並形成糊精與麥芽寡糖。

耐高溫 α -澱粉酶在此階段的作用是把黏度問題轉化為可控的分子量問題。只要澱粉長鏈被內切成較短糊精，漿料的流變性就會改變；實務上，這代表料液更容易混合、加熱更均勻，也較能支援較高固形物操作，而高固形物操作通常與乙醇廠的體積生產率、蒸餾負荷與水耗管理密切相關 [4]。

第二個痛點是前後段條件不一致。液化偏向高溫與高剪切環境，糖化與發酵則需考量葡萄糖澱粉酶、酵母或其他微生物的溫度與 pH 適應性。因此，液化酵素若能在熱段穩定工作，就能在冷卻進入糖化前先把澱粉轉為較易處理的糊精底物，使後續外切酵素有更多可作用端點 [5]。

第三個痛點是原料差異。不同澱粉來源的顆粒結構、直鏈 / 支鏈比例、蛋白質與脂質包覆程度、研磨粒徑及前處理方式不同，會影響酵素可及性。文獻中以碎米、珍珠粟、栗子等澱粉基質進行乙醇或酵素水解研究時，皆可看到原料性質與酵素組合對糖釋放與後續發酵結果有明顯影響 [3]。

作用機制： α -1,4 內切水解如何降低黏度並建立糖化底物

從澱粉結構看液化需求

澱粉主要由直鏈澱粉與支鏈澱粉構成。直鏈澱粉多為 α -1,4 鍵連接的線性葡萄糖聚合物；支鏈澱粉則以 α -1,4 主鏈搭配 α -1,6 分支形成高度分枝結構。糊化後，這些聚合物在水相中形成黏稠網絡，分子量越高、鏈間纏結越多，漿料越難處理 [2]。

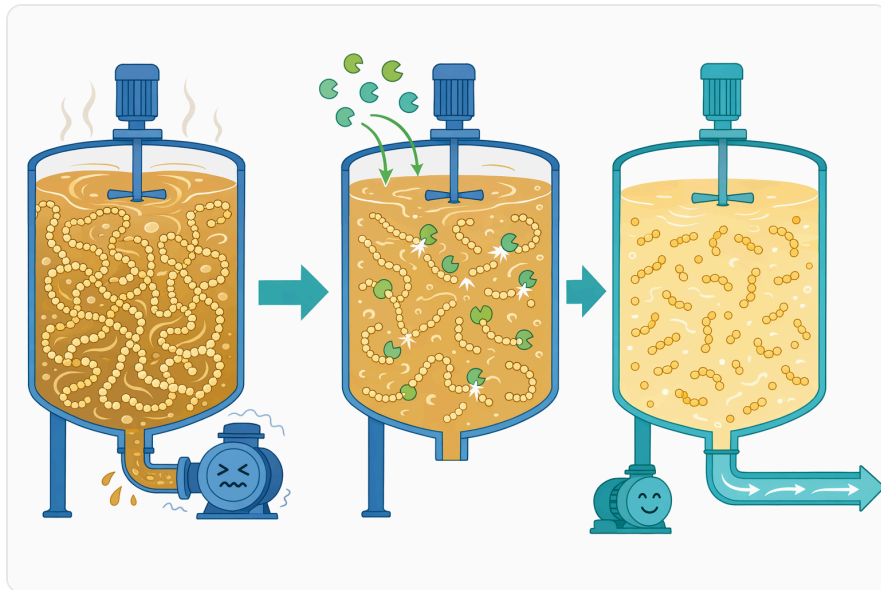


Figure 2. 將水合後的長鏈澱粉切成較短片段，可降低醪液黏度並改善製程操作性。

α -澱粉酶的「內切」模式適合處理此問題。它隨機或半隨機地在澱粉鏈內部切斷 α -1,4 鍵，快速降低平均分子量，產生可溶性糊精、麥芽糖、麥芽三糖與其他寡糖。由於它主要處理 α -1,4 鍵，支鏈澱粉中的 α -1,6 分支點通常需要由其他酵素或後續水解步驟處理，這也是工業流程常把 α -澱粉酶與葡萄糖澱粉酶、脫支酵素搭配的原因 [5]。

為何耐高溫版本更適合乙醇前段流程

澱粉的可及性與溫度高度相關。未糊化澱粉顆粒結構緊密，酵素不一定能有效進入；經加熱糊化後，聚合物鏈展開，水解效率通常較佳，但此時環境也更容易使一般酵素失活。耐高溫 α -澱粉酶的應用邏輯，是讓酵素在澱粉最容易被攻擊、但溫度也較嚴苛的階段仍保有液化功能 [6]。

研究上，耐熱 α -澱粉酶可來自 *Bacillus*、*Nocardiopsis*、*Clostridium*、熱泉微生物或以基因探勘取得的新型酵素序列；不同來源的最適條件、pH 適應性與金屬離子需求差異很大。這些差異說明「耐高溫 α -澱粉酶」不是單一酵素，而是一組具備相似工業功能、但性能輪廓不同的酵素類型 [7]。

與糖化、發酵的連動

液化不是乙醇產生的最後一步，而是把澱粉轉成下游更容易處理的中間體。液化後的糊精需要進一步被葡萄糖澱粉酶水解為葡萄糖，或在特定整合製程中由具備澱粉水解能力的微生物系統同步轉化。研究也曾以表面展示 α -澱粉酶的工程菌系統，把澱粉轉化與乙醇等生物產物生成連結起來，顯示澱粉水解能力對生物轉換平台的重要性 [8]。

對多數澱粉基乙醇廠而言， α -澱粉酶的貢獻可概括為三件事：先降黏、再增加可水解端點、最後提高糖化階段的底物均一性。若液化不足，後段可能出現殘餘澱粉、糖化不完全或發酵波動；若液化過度或條件不匹配，也可能造成不必要的酵素成本或流程複雜度，因此實際整合仍需依原料與設備條件調整 [5]。

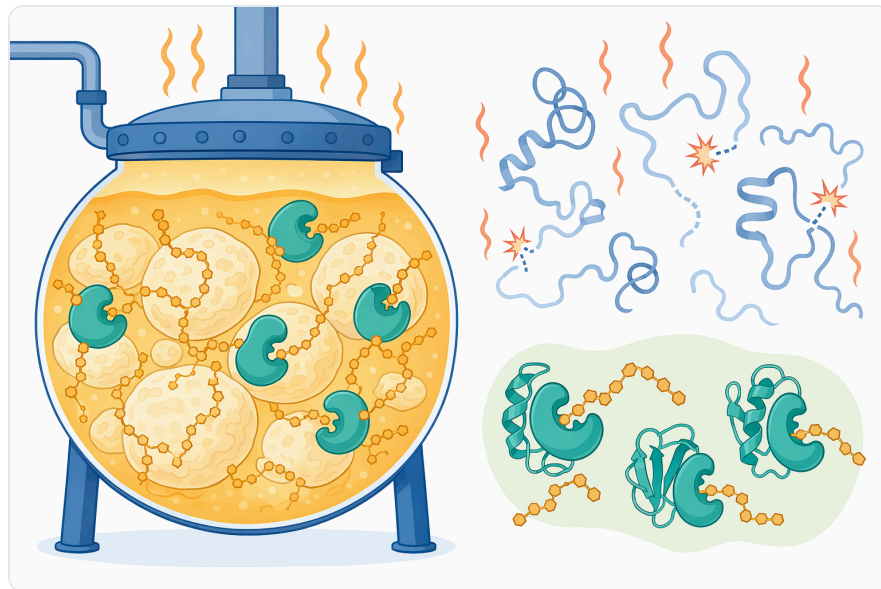


Figure 3. 耐熱性使 α -澱粉酶在高溫澱粉液化過程中仍能維持催化結構；此時糊化澱粉最容易被酵素作用。

在乙醇製程中的典型位置

工業澱粉乙醇流程通常可分為原料研磨與調漿、加熱糊化、耐熱 α -澱粉酶液化、糖化、發酵、蒸餾與副產物處理。耐高溫 α -澱粉酶主要位於糊化後至糖化前的液化區間，也可能依製程設計在加熱、保溫或冷卻前段加入，以縮短高黏度停留時間 [3]。

在乾磨穀物乙醇或類似澱粉流程中，液化階段的良好控制會影響整條線的穩定性。當澱粉被快速降解成可溶性糊精，設備負荷降低，物料傳遞更穩定；後續糖化酵素也更容易接觸底物，發酵槽中可發酵糖供應較不易受到未液化澱粉團塊干擾 [4]。

不過，耐高溫 α -澱粉酶並不能取代所有澱粉轉化酵素。它的主要任務是液化與降黏，而非把所有糊精完全轉為葡萄糖；若目標是提高可發酵糖，仍需考慮葡萄糖澱粉酶、必要時搭配脫支酵素，以及酵母菌株或發酵微生物對糖組成的利用能力 [9]。

α-澱粉酶與相關酵素在澱粉乙醇中的分工比較

酵素類型	主要作用鍵結 / 底物	在乙醇製程中的角色	主要製程效果	常見限制
耐高溫 α-澱粉酶	澱粉內部 α-1,4 鍵	糊化後液化、降黏	降低分子量、改善流動性、產生糊精	對 α-1,6 分支處理有限，通常不負責完全糖化
葡萄糖澱粉酶	糊精非還原端 α-1,4，部分可作用於 α-1,6	糖化	釋放葡萄糖，提高可發酵糖	對前段液化品質敏感，常需較溫和條件
脫支酵素 / Pullulanase	α-1,6 分支鍵	分支澱粉輔助水解	降低限制糊精、提升糖化完整度	是否需要取決於原料與製程目標
具澱粉水解能力的工程微生物系統	依表現酵素而定	整合水解與發酵研究平台	可能簡化外加酵素步驟	工業放大、穩定性與法規條件需另行評估

此分工表凸顯一個重點：耐高溫 α-澱粉酶是前段液化工具，不是完整澱粉轉葡萄糖方案的全部。混合酵素水解研究顯示，α-澱粉酶與葡萄糖澱粉酶的搭配能影響固態或高固形物澱粉基質的水解效率，代表流程設計應以整體糖供應而非單一酵素反應來思考 [5]。

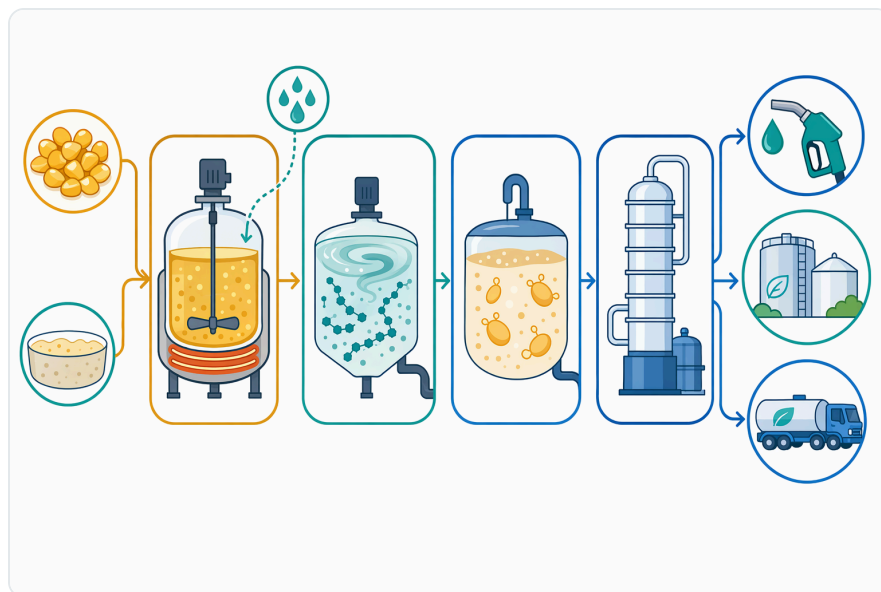


Figure 4. 澱粉乙醇生產將蒸煮、α-澱粉酶液化、糖化、發酵與乙醇回收分成不同的製程步驟。

科學證據：耐熱 α -澱粉酶的來源、工程化與工業適配

微生物 α -澱粉酶是工業酵素的重要類別，原因在於微生物來源容易透過發酵取得，且不同菌株能提供差異化的溫度、pH 與穩定性特徵。綜述指出，*Bacillus* 等細菌來源的 α -澱粉酶長期被應用於澱粉加工、食品、發酵與其他工業場景，而耐熱性與製程相容性是篩選和改良的核心方向 [2]。

Bacillus amyloliquefaciens、*Bacillus licheniformis*、*Bacillus megaterium* 等菌株常見於 α -澱粉酶研究。以農業殘渣作為培養基質優化 *Bacillus amyloliquefaciens* 產酵素的研究，反映產業界持續尋找更具成本效益的酵素生產途徑；另有 *Bacillus megaterium* 嗜熱菌株研究聚焦於耐熱 α -澱粉酶的篩選、特性與生產條件 [10]。

熱泉與地熱環境是尋找耐熱酵素的重要來源。以 metagenomics 方式從地熱泉探勘耐熱 α -澱粉酶基因，可避免只依賴可培養菌株，擴大候選酵素多樣性；這類研究對未來開發低 pH、耐熱或具特殊穩定性的澱粉液化酵素具有參考價值 [7]。

酸性耐熱 α -澱粉酶也具有工業意義，因為較低 pH 液化可減少後續 pH 調整負擔，並可能提升與糖化流程的銜接。文獻曾報導以低 pH、耐熱 α -澱粉酶作為澱粉液化新型酵素的開發方向，說明工業需求不只在「耐熱」，也在於更寬的製程相容性 [1]。



Figure 5. 耐熱性 α -澱粉酶適用於富含澱粉的乙醇原料，包括玉米、木薯、高粱、稻米、西米、樹薯澱粉殘渣與食物廢棄物。

除細菌外，*Nocardiopsis* 等放線菌來源也被研究作為耐熱 α -澱粉酶來源。這些研究通常會比較酵素在不同溫度、pH、鹽類或添加物條件下的表現，目的在於找出適合食品、澱粉加工或發酵前處理的穩定酵素候選 [11]。

對工業乙醇廠的實際效益

降低漿料黏度與改善設備操作

耐高溫 α -澱粉酶最直接的效益是降低糊化澱粉漿料黏度。黏度下降後，攪拌器所需負荷降低，泵送與管線輸送更穩定，熱交換也較不易受到局部過稠或結塊影響。這些改善雖然不一定直接等同於乙醇產率提升，但會提高前處理段的可控性，是高固形物乙醇製程的重要基礎 [4]。

支援較穩定的糖化與發酵

液化品質會影響後續糖化的底物狀態。若 α -澱粉酶能產生分散且可溶的糊精，葡萄糖澱粉酶有更好的作用條件，糖釋放曲線也可能更平順。以碎米與珍珠粟等原料進行乙醇生產的研究顯示，澱粉原料的酵素水解與發酵表現會受前處理與酵素步驟影響，因此液化並非單純的輔助步驟，而是糖供應管理的一部分 [3]。

減少化學水解依賴

相較於強酸水解，酵素液化通常能在較溫和條件下進行，副反應與設備腐蝕壓力也較低。雖然工業上仍需依原料、污染控制與設備條件選擇適合流程，但微生物 α -澱粉酶被廣泛研究與採用，正是因為它能以較高選擇性處理澱粉鍵結，降低不必要的化學處理負擔 [2]。

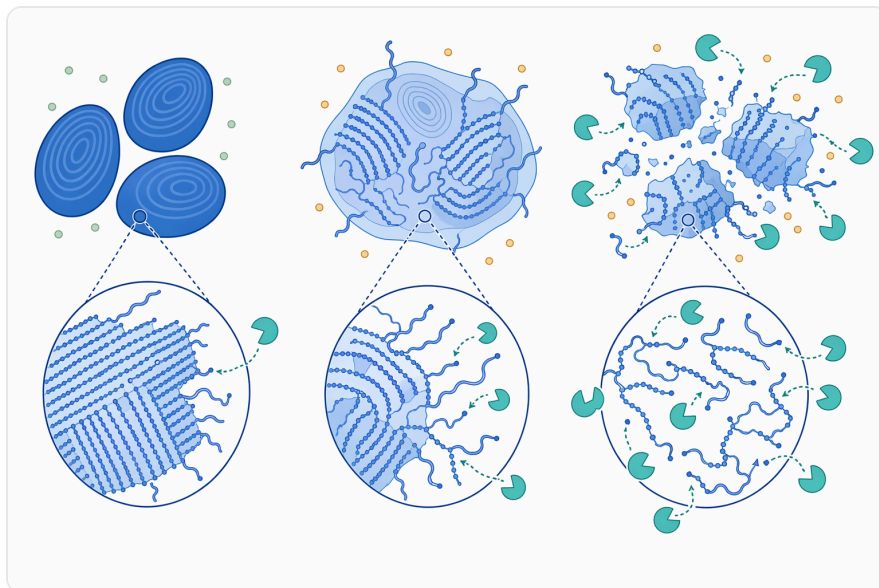


Figure 6. 澱粉顆粒結構、糊化程度與物理破碎會影響 α -澱粉酶接觸澱粉 α -1,4 鍵的難易度。

使用與整合時的技術邊界

耐高溫 α -澱粉酶的效果高度依賴製程條件。溫度、pH、鈣離子或其他金屬離子、乾物含量、剪切條件、停留時間與原料粒徑都可能影響液化表現；不同來源酵素的條件偏好並不相同，因此不能把某一篇研究的最佳條件直接套用到所有產品或所有乙醇廠 [12]。

原料組成也是重要變因。玉米、木薯、米、穀物副產物或其他澱粉性原料的澱粉顆粒結構不同，蛋白質與纖維含量也不同；在高固形物系統中，非澱粉組分可能影響水分分配、熱傳與酵素接觸效率。這也是為何澱粉乙醇研究常以特定原料建立流程，而非只用純澱粉推估工業結果 [3]。

金屬離子需求需以產品資料與廠內流程條件判讀。部分 α -澱粉酶具有鈣離子穩定需求，部分研究則尋找鈣依賴性較低或在特殊條件下更穩定的酵素，以降低製程添加物與結垢風險。此類差異屬於酵素來源與結構特性的一部分，不能僅以「 α -澱粉酶」名稱概括 [1]。

此外，液化程度也需與後段糖化、發酵協調。過低液化會造成殘餘澱粉與高黏度問題；過度追求前段水解則可能增加停留時間或投入成本，卻未必對最終乙醇濃度有同比例改善。較合理的思路是把耐高溫 α -澱粉酶視為整體澱粉轉化系統的一環，與葡萄糖澱粉酶和發酵條件共同評估 [5]。

Enzymes.bio 供應資訊與文件可用性

Enzymes.bio 作為酵素供應商，提供 Thermostable Alpha Amylase Enzyme For Industrial Ethanol Production 供企業在線上以 1 kg 單位購買。此定位適合需要補充工業澱粉液化酵素、進行廠內流程整合或用於既有澱粉乙醇前處理段的使用者；產品並非以實驗室檢測服務或製造商技術開發服務形式提供。



Figure 7. 澱粉基乙醇仰賴澱粉酶系統進行液化與糖化；木質纖維素乙醇則需要預處理以及纖維素酶或半纖維素酶系統。

隨訂單提供的 CoA 與 SDS 可用於企業內部品質、倉儲、安全與合規文件管理。CoA 有助於確認交付批次的基本品質資訊，SDS 則支援職業安全、操作防護、運輸與儲存管理；實際導入時，仍應由使用端依自身設備、原料與製程條件進行相容性確認。

適用應用範圍

主要應用是澱粉基工業乙醇生產，包括以穀物、米類、木薯或其他澱粉性農產原料為碳源的燃料酒精與工業酒精流程。耐高溫 α -澱粉酶在這些場景中扮演液化酵素角色，目標是把糊化澱粉轉為低黏度、可糖化的糊精液 [3]。

同一類酵素也可見於澱粉加工、糊精製備、釀造前處理與部分食品加工。差異在於乙醇製程更重視高固形物操作、可發酵糖供應與發酵穩定性；食品或澱粉改質流程則可能更重視糊精分布、黏度曲線與最終產品質地 [2]。

在紡織去漿等非乙醇場景中，耐熱 α -澱粉酶可用於去除澱粉類漿料，顯示其高溫澱粉水解能力具有跨產業價值。不過，乙醇生產的評估重點仍應回到液化效率、下游糖化銜接、發酵表現與整體製程經濟性 [7]。

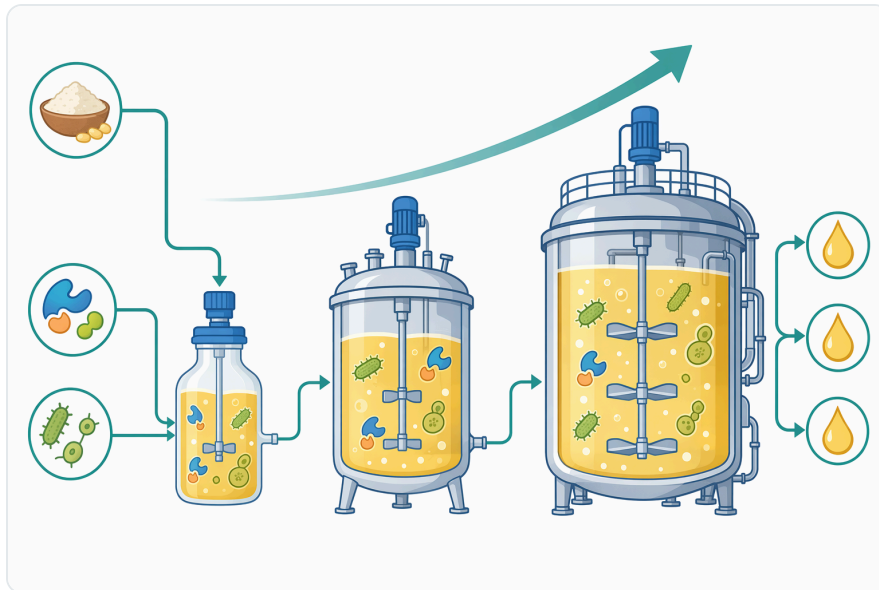


Figure 8. 已發表的澱粉轉乙醇研究涵蓋同步水解與發酵，並從實驗室規模評估到試驗廠與工業發酵槽容量。

結論：液化段的關鍵酵素，而非單一步驟解決方案

Thermostable Alpha Amylase Enzyme 是澱粉基工業乙醇製程中用於高溫液化與降黏的關鍵工具。它透過內切 α -1,4 糖苷鍵降低澱粉分子量，將糊化後的高黏度漿料轉為較易泵送、混合與糖化的糊精系統，為後續葡萄糖生成與乙醇發酵建立更穩定的底物條件 [1]。

文獻支持耐熱 α -澱粉酶在澱粉液化、微生物酵素開發與乙醇前處理中的重要性，但實際效益會受酵素來源、原料種類、pH、溫度、乾物含量與下游酵素組合影響。對使用端而言，最務實的定位是把它納入整體澱粉轉化流程管理：前段降低黏度，中段建立可糖化糊精，後段再透過糖化與發酵把碳源轉為乙醇 [5]。

Enzymes.bio 提供的 Thermostable Alpha Amylase Enzyme For Industrial Ethanol Production 可作為企業導入或維持澱粉液化流程的供應選項，產品以 1 kg 單位在線上銷售，CoA 與 SDS 隨訂單提供。對以澱粉為原料的乙醇與相關生物製程而言，耐高溫 α -澱粉酶的價值不在於單獨提高某一個數字，而在於讓高黏度、高固形物、熱處理後的澱粉系統變得可控、可糖化且更適合連續銜接下游發酵。

線上訂購 Thermostable Alpha Amylase Enzyme For Industrial Ethanol Production

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 Enzyme For Industrial Ethanol Production →](#)

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. Richardson, T., Tan, X., Frey, G., Callen, W., Cabell, M., Lam, D., Macomber, J. L., ... et al. (2002). A novel, high performance enzyme for starch liquefaction. Discovery and optimization of a low pH, thermostable alpha-amylase. *Journal of Biological Chemistry*, 277 29, 26501-7 .
2. Far, B. E., Ahmadi, Y., Khosroshahi, A. Y., & Dilmaghani, A. (2020). Microbial Alpha-Amylase Production: Progress, Challenges and Perspectives. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 10, 350 - 358.
3. Gohel, V., & Duan, G. (2012). Conventional process for ethanol production from Indian broken rice and pearl millet. *Bioprocess and biosystems engineering (Print)*, 35, 1297-1308.
4. Uses Of Enzymes In Grain To Ethanol Fermentation. *Thecatalystsgroup*.
5. López, C., Torrado, A., Guerra, N. P., & Pastrana, L. (2005). Optimization of solid-state enzymatic hydrolysis of chestnut using mixtures of alpha-amylase and glucoamylase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 4, 989-95 .
6. Sudan, S., Kumar, N., Kaur, I., & Sahni, G. (2018). Production, purification and characterization of raw starch hydrolyzing thermostable acidic α -amylase from hot springs, India. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117, 831-839 .
7. Chauhan, G., Kumar, V., Arya, M., Kumari, A., Srivastava, A., Khanna, P., & Sharma, M. (2023). Mining of Thermostable Alpha-amylase Gene from Geothermal Springs using a Metagenomics Approach. *Journal of Pure and Applied Microbiology*.
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. Santos, V. L., Araújo, E. F., Barros, E. G. D., & Guimaraes, W. V. (1999). Fermentation of starch by Klebsiella oxytoca p2, containing plasmids with alpha-amylase and pullulanase genes. *Biotechnology and Bioengineering*, 65 6, 673-6 .
10. 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.

11. Stamford, T. M., Stamford, N., Coelho, L., & Araújo, J. M. (2001). Production and characterization of a thermostable alpha-amylase from Nocardopsis sp. endophyte of yam bean. *Bioresource Technology*, 76 2, 137-41 .
12. Abootalebi, S. N., Saeed, A., Gholami, A., Mohkam, M., Kazemi, A., Nezafat, N., Mousavi, S., ... et al. (2020). Screening, Characterization and Production of Thermostable Alpha-Amylase Produced by a Novel Thermophilic Bacillus megaterium Isolated from Pediatric Intensive Care Unit.

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。