

# 高溫 $\alpha$ -澱粉酶用於酒精、釀造與澱粉液化：High Temperature Alpha-Amylase For Alcohol & Brewing Starch Liquefaction

Enzymes.bio 研究團隊 · 紐西蘭威靈頓 · June 22, 2026

High Temperature Alpha-Amylase For Alcohol & Brewing Starch Liquefaction 是一項用於酒精生產、釀造與澱粉質原料液化的高溫型  $\alpha$ -澱粉酶供應品；其核心作用是在加熱糊化後的澱粉漿中切斷澱粉分子內部的  $\alpha$ -1,4 糖苷鍵，使高分子澱粉轉為較短鏈糊精，快速降低黏度並改善泵送、攪拌與後續糖化條件。 $\alpha$ -澱粉酶本身不是完整糖化或發酵系統，但在澱粉基酒精、燃料乙醇、啤酒輔料釀造與澱粉水解物製程中，是建立可操作液化基質的關鍵酵素之一。Enzymes.bio 作為線上供應商提供 1 kg 單位產品；CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，產品用途定位於工業與食品加工相關製程，而非直接食用。

## 酵素名稱與主要應用

**酵素名稱：** 高溫  $\alpha$ -澱粉酶 ( High Temperature Alpha-Amylase )

**主要應用：** 酒精與燃料乙醇澱粉液化、啤酒與釀造輔料液化、玉米 / 木薯 / 小麥等澱粉質原料前處理、澱粉水解物製程的降黏步驟。

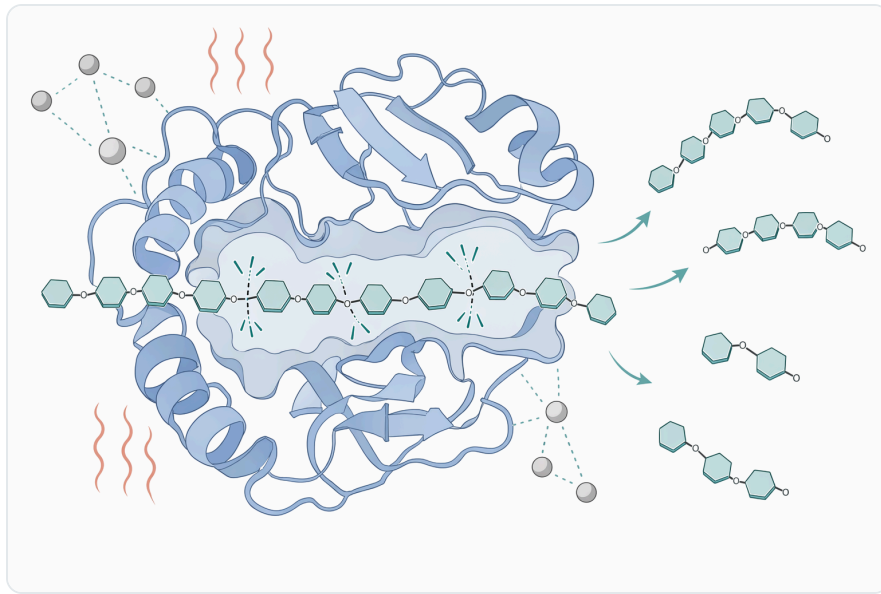
$\alpha$ -澱粉酶是一類內切型澱粉水解酵素，主要作用於直鏈澱粉與支鏈澱粉中的  $\alpha$ -1,4 糖苷鍵。對酒精與釀造製程而言，它最重要的價值不是一次把澱粉完全轉成葡萄糖，而是在高溫糊化後迅速降低漿體黏度，使原本黏稠、傳熱不均、難攪拌的澱粉漿變成較可泵送、可混合、可接續糖化的液化物；近期針對耐熱  $\alpha$ -澱粉酶的研究，也持續將其定位於澱粉加工、發酵基質製備與其他工業應用場景中 <sup>[1]</sup>。

Enzymes.bio 供應的 High Temperature Alpha-Amylase For Alcohol & Brewing Starch Liquefaction，產品定位是支援酒精、釀造與澱粉加工中的液化階段。這類產品通常用於澱粉顆粒已經受熱膨潤、澱粉鏈較容易暴露的條件下，藉由酵素切鏈降低黏度並形成糊精基質；產品以 1 kg 單位在線上銷售，訂單隨附 CoA 與 SDS，供使用者在既有製程文件與安全管理制度中留存。

# 為什麼酒精與釀造製程需要「高溫」 $\alpha$ -澱粉酶？

## 澱粉糊化會先讓黏度上升，而不是下降

在玉米、小麥、木薯、稻米或其他澱粉質原料進入酒精與釀造流程時，通常會先經粉碎、調漿與加熱。加熱的目的，是讓澱粉顆粒吸水、膨潤並糊化，使原本在顆粒內部排列緊密的澱粉鏈變得更容易被酵素接觸；但同一過程也會造成黏度急遽增加，使漿料變得更難攪拌、更難泵送，並提高熱交換不均與局部過熱的風險。澱粉液化研究常將  $\alpha$ -澱粉酶視為控制此一高黏度階段的主要生物催化工具，因為它能快速把長鏈澱粉切成較短糊精 [2]。



**Figure 1.** 高溫  $\alpha$ -澱粉酶透過水解內部  $\alpha$ -葡萄糖苷鍵，將糊化澱粉液化為可溶性糊精。

若液化不足，後續糖化酵素即使存在，也可能因底物過於黏稠、混合不均或澱粉鏈暴露不足而難以發揮效果。這是為什麼在澱粉基乙醇與釀造輔料處理中，「液化」常被視為糖化與發酵之前的工程控制步驟，而不是單純的糖產生步驟；兩段式澱粉發酵與直接發酵的比較文獻，也將澱粉水解與發酵之間的流程安排視為影響製程效率的重要因素 [3]。

## 高溫條件有利於糊化，卻會挑戰酵素穩定性

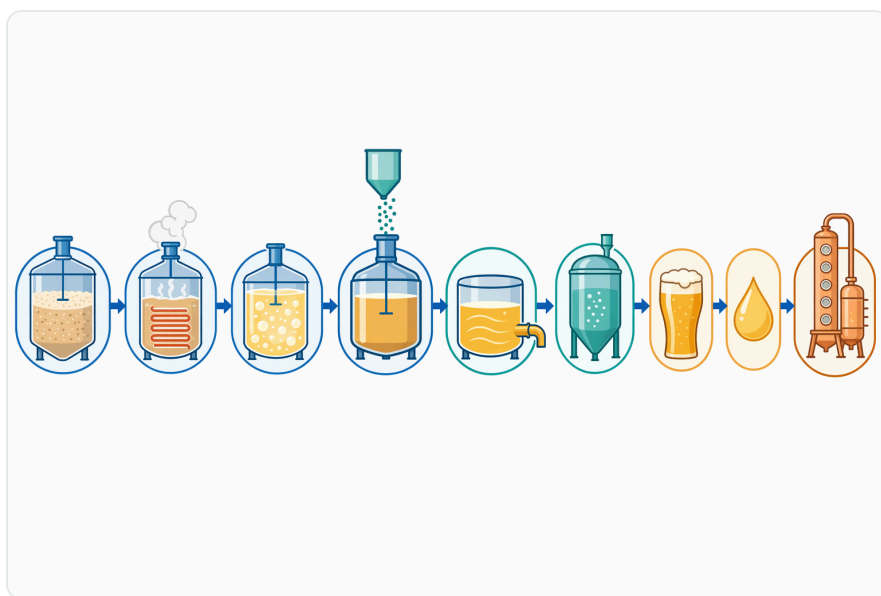
澱粉顆粒的糊化需要熱能，但許多酵素在高溫下會逐漸失活；因此，酒精與釀造流程中的液化段，實際上是在「需要足夠溫度使澱粉顆粒打開」與「需要酵素維持有效結構」之間取得平衡。耐熱  $\alpha$ -澱粉酶研究的重點，正是尋找或改良能在較高溫加工條件下維持可用活性的酵素來源，以便配合工業澱粉液化的熱加工需求 [4]。

高溫型  $\alpha$ -澱粉酶的產業意義，在於它能更貼近加熱液化的實際環境。多項微生物來源研究顯示，*Bacillus*、*Nocardiopsis*、*Streptomyces*、*Geobacillus* 等菌源的澱粉酶常被評估其耐熱性、穩定性與工業適用性，原因正是傳統澱粉加工、酒精發酵與食品加工需要能在加熱條件下工作的催化系統 [5]。

## 作用機制：從高分子澱粉到可處理糊精

### $\alpha$ -澱粉酶的內切式水解

澱粉主要由直鏈澱粉與支鏈澱粉組成。直鏈澱粉以  $\alpha$ -1,4 糖苷鍵連接成相對線性的葡萄糖聚合物；支鏈澱粉則以  $\alpha$ -1,4 鍵形成主鏈，並含有  $\alpha$ -1,6 分支點。 $\alpha$ -澱粉酶的典型功能，是在澱粉分子內部切斷  $\alpha$ -1,4 鍵，因此稱為「內切型」酵素；它不需要從鏈端逐一釋放葡萄糖，而是能在多個內部位置造成鏈長縮短，這正是降黏速度快的原因之一 [6]。



**Figure 2.** 在酒精與釀造製程中，高溫  $\alpha$ -澱粉酶會於高溫液化階段加入，以降低醪液黏度，並使澱粉為後續糖化做好準備。

當長鏈澱粉被切成較短糊精時，漿體黏度下降的原因並不只是「分子變少」，而是高分子鏈纏結、吸水保持能力與流動阻力都被削弱。對高固形分澱粉漿而言，這種分子量下降會直接反映在攪拌扭矩、泵送壓力與熱傳效率上；以甘藷、樹薯、麵包果等澱粉進行液化條件研究的文獻，也普遍把液化時間、酵素處理與原料特性視為影響水解表現的核心變因 [7]。

### 液化不是最終糖化

高溫  $\alpha$ -澱粉酶液化後的主要產物通常是不同鏈長的糊精、寡糖與少量較小糖類。若製程目標是提高可發酵糖、葡萄糖或特定糖漿組成，通常還需要後續糖化酵素，例如葡萄糖澱粉酶、支鏈切除相關酵素或其他糖化配方。系統性回顧指出，酵素法澱粉糖漿生產通常會依據原料與目標糖組成安排液化與糖

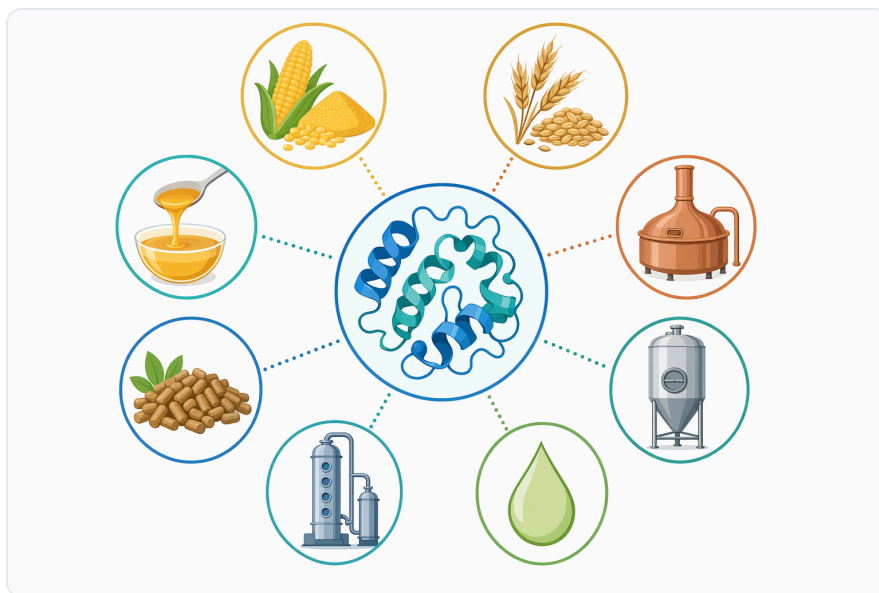
化步驟，而非僅依靠單一酵素完成所有轉化 [8]。

這一點對酒精與釀造使用者尤其重要。 $\alpha$ -澱粉酶負責把「高黏度澱粉漿」轉為「較低黏度糊精液」，使後續糖化或同步糖化發酵更可控；但酒精生成仍取決於可發酵糖釋放、酵母代謝、營養平衡、污染控制與發酵條件。小麥澱粉同步糖化發酵研究即顯示，澱粉水解與發酵可被整合安排，但整體結果仍是酵素系統與發酵系統共同作用的結果 [9]。

## 在酒精與燃料乙醇中的角色

澱粉基酒精生產通常包括原料粉碎、調漿、加熱糊化、液化、糖化與發酵等步驟。高溫  $\alpha$ -澱粉酶位於液化段，其任務是把糊化後的澱粉迅速切短，使醪液黏度下降，讓設備能穩定攪拌與輸送。對使用玉米、小麥、木薯或混合澱粉原料的製程而言，這一步會影響後續糖化酵素與酵母接觸底物的均勻性，也會影響管線、泵與熱交換設備的負荷 [10]。

近年乙醇研究除了探討酵素本身，也關注原料澱粉結構如何影響酵素消化效率。例如玉米種子澱粉合成改造研究指出，澱粉結構與可酵素消化性之間存在直接關聯，這意味著液化表現不僅由酵素決定，也受到原料內在結構控制 [11]。因此，高溫  $\alpha$ -澱粉酶在乙醇製程中的合理定位，是提高澱粉漿可加工性與建立後續糖化基礎，而不是保證單一固定幅度的酒精產量提升。



**Figure 3.** 此酵素可用於釀造、燃料酒精、食用蒸餾酒、穀物加工及相關澱粉轉化作業中的澱粉液化。

使用廢棄烘焙品、甜高粱澱粉、塊莖澱粉或其他替代性澱粉來源時，液化段的重要性更明顯，因為這些原料可能同時含有脂質、蛋白質、纖維、鹽分或加工副產物，導致糊化與黏度行為不同。混合廢棄烘焙品乙醇研究即將液化溫度與酵素處理列為影響生物乙醇生產的重要條件，顯示液化控制是非常實際的製程變因 [12]。

## 在啤酒、釀造與輔料處理中的角色

在啤酒與其他穀物釀造中，澱粉需被轉化為麥芽糖、葡萄糖、麥芽三糖與不同長度糊精，這些成分共同影響麥汁可發酵性、酒體、口感與最終殘糖。當配方中使用未發芽穀物、澱粉輔料或高比例非麥芽原料時，原料本身的天然澱粉酶活性可能不足，外加  $\alpha$ -澱粉酶可協助液化並降低高澱粉漿的處理難度 [13]。

釀造並不只是追求最高程度的澱粉分解。有些糊精保留會影響酒體與口感，而過度或不足的水解都可能改變麥汁組成。因此，高溫  $\alpha$ -澱粉酶在釀造中的應用，通常應被理解為「輔助澱粉輔料或高澱粉段液化」的工具，而不是取代整體糖化設計。以黑小麥 / 小黑麥等穀物開發澱粉水解生物催化劑的研究，亦指出釀造麥汁糖組成提升需要考量原料酵素系統與加工條件 [13]。

## 與其他澱粉加工酵素的比較

下表整理高溫  $\alpha$ -澱粉酶與常見澱粉加工酵素在液化與糖化流程中的差異。表中為功能性比較，並非特定產品規格。

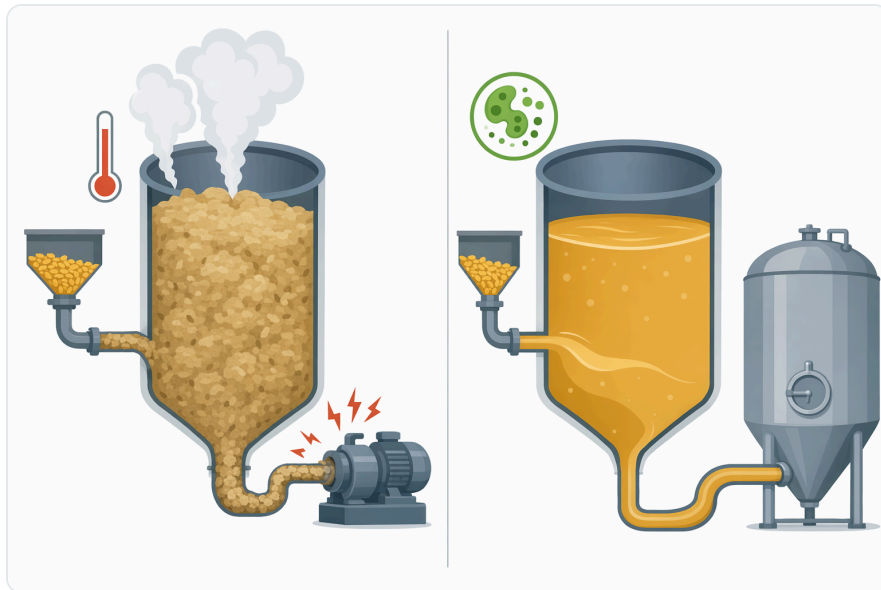


Figure 4. 相較於單純非酵素熱處理， $\alpha$ -澱粉酶液化可降低醪液黏度，並改善下游可發酵糖的生成。

酵素類型	主要作用位置	主要產物傾向	在酒精 / 釀造中的典型角色	是否適合作為液化主力
高溫 $\alpha$ -澱粉酶	澱粉內部 $\alpha$ -1,4 鍵	糊精、寡糖、少量小分子糖	降低糊化澱粉漿黏度，改善攪拌、泵送與後續糖化	是，特別適合加熱液化段

酵素類型	主要作用位置	主要產物傾向	在酒精 / 釀造中的典型角色	是否適合作為液化主力
葡萄糖澱粉酶	鏈端逐步釋放葡萄糖，並可處理部分分支附近鍵結	葡萄糖為主	糖化段，提高可發酵糖	通常不是液化主力
支鏈切除相關酵素	支鏈澱粉 $\alpha$ -1,6 分支點	使分支結構更容易被進一步糖化	配合糖化，提高澱粉利用深度	不是單獨液化主力
麥芽糖生成相關酵素	依酵素類型偏向產生特定麥芽寡糖	麥芽糖或特定寡糖	麥汁糖譜或糖漿組成調整	視製程而定，通常非第一液化工具

澱粉加工文獻通常把  $\alpha$ -澱粉酶放在液化核心位置，因其內切式水解能快速降低高分子澱粉的流變阻力；而糖化階段則常需要其他酵素把糊精進一步轉為可發酵糖或目標糖譜 [14]。因此，若製程目標是酒精產出或特定麥汁組成，高溫  $\alpha$ -澱粉酶應被納入完整酵素流程來理解，而非孤立評估。

## 不同澱粉原料的製程考量

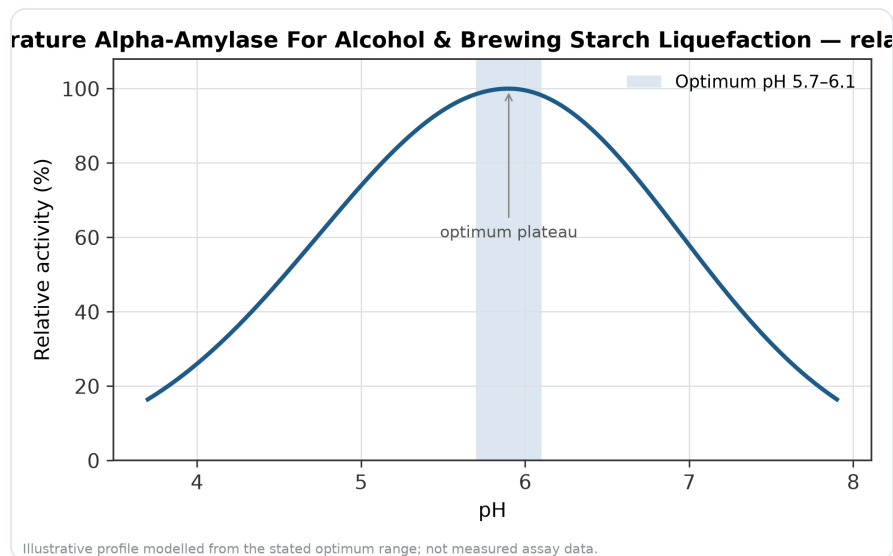
### 玉米、小麥與穀物類原料

玉米與小麥是澱粉基酒精與釀造輔料常見來源，但兩者的蛋白質、脂質、纖維與澱粉顆粒特性不同，會影響糊化、黏度與酵素接觸性。高、低直鏈澱粉玉米的液化與糖化研究指出，澱粉組成差異會影響乙醇生產前段水解表現，因此原料並不是被動底物，而是會改變液化動態的因素 [10]。

小麥澱粉在酒精生產中也常與同步糖化發酵設計相關；此時液化是否充分，會影響後續糖化酵素釋放可發酵糖的速度，也可能影響酵母可利用糖的供應節奏。同步糖化發酵研究強調，澱粉水解與發酵同時進行時，酵素釋糖與微生物耗糖之間需要匹配，否則製程表現可能受到限制 [9]。

### 木薯、塊莖與替代性澱粉來源

木薯、甘藷、*Oxalis tuberosa* 等塊莖澱粉通常具有不同於穀物澱粉的顆粒特性與雜質背景。木薯澱粉液糖與葡萄糖漿研究顯示，酵素水解可用於多種澱粉來源，但不同原料的液化與糖化條件需要分別控制 [15]。對使用這類原料的酒精或澱粉水解物流程，高溫  $\alpha$ -澱粉酶的價值在於先把高黏度糊化漿料轉為可處理狀態，再交由後續糖化或發酵步驟完成目標轉化。



**Figure 5.** 用於酒精與釀造澱粉液化的高溫  $\alpha$ -澱粉酶相對活性隨 pH 變化的關係，顯示其最適平台位於 pH 5.7–6.1。

*Oxalis tuberosa* 澱粉乙醇研究也顯示，酵素水解與酒精發酵需作為連續系統評估，因為前段水解狀態會決定後段酵母可利用糖的供應 [16]。因此，即使同樣使用高溫  $\alpha$ -澱粉酶，製程結果仍會因原料種類、粉碎程度、固形分、加熱歷程與後續酵素配置而不同。

## 高溫 $\alpha$ -澱粉酶可帶來的實務效益

### 降低黏度與設備負荷

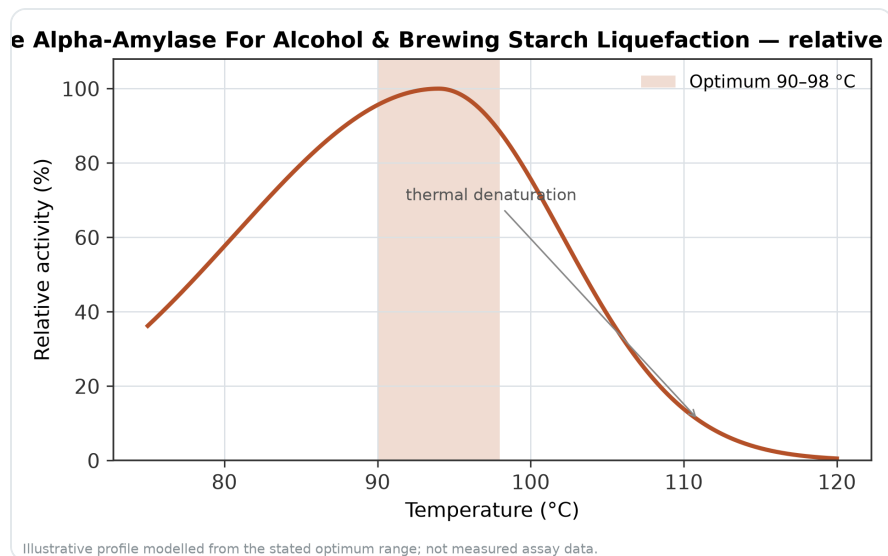
最直接的效益是降黏。當  $\alpha$ -澱粉酶把長鏈澱粉切成較短糊精，漿料流動性會改善，攪拌阻力、泵送壓力與管線堵塞風險通常會下降。對高固形分操作而言，這不只是操作便利性問題，也關係到熱量能否均勻傳遞、酵素能否均勻分布、以及後續糖化是否能接觸到足夠底物 [17]。

### 改善後續糖化基質

液化良好的澱粉漿，通常會形成較均一、較可溶的糊精基質。這使後續葡萄糖澱粉酶或其他糖化酵素更容易作用，降低因底物塊狀、局部過黏或混合不均造成的水解差異。動力學模型研究指出，天然與改性澱粉底物在酵素水解中的行為可有明顯差異，表示液化基質的狀態會影響後續反應速率與可預測性 [18]。

### 支援高溫加工的連續性

若酵素耐熱性不足，製程可能需要在糊化與酵素作用之間安排更多冷卻或溫度切換，增加時間與操作複雜度。高溫型  $\alpha$ -澱粉酶的優勢，是更能貼近澱粉糊化後的熱加工環境，使液化段能以較少的溫度折返完成。熱嗜性微生物澱粉酶的綜述指出，耐熱澱粉酶在生產、工程化與工業應用上受到重視，正是因為高溫穩定性能提高其在嚴苛加工環境中的可用性 [19]。



**Figure 6.** 用於酒精與釀造澱粉液化的高溫  $\alpha$ -澱粉酶相對活性隨溫度變化的關係；最適溫度為 90–98 °C，且在超過最適溫度後呈現典型的熱變性下降。

## 可信證據：哪些主張最穩健？

**最穩健的主張是：** $\alpha$ -澱粉酶能水解澱粉  $\alpha$ -1,4 鍵，並在澱粉液化中降低黏度。這一點受到澱粉水解機制、工業澱粉加工與多種原料液化研究的共同支持；不論是甜高粱澱粉、麵包果澱粉、木薯澱粉或其他農業澱粉來源，液化研究皆將  $\alpha$ -澱粉酶視為關鍵處理工具 [2]。

**次穩健的主張是：**耐熱  $\alpha$ -澱粉酶更適合高溫液化環境。多項研究針對不同微生物來源的耐熱  $\alpha$ -澱粉酶進行分離、表徵、穩定性與工業相關性評估，包括 *Bacillus licheniformis*、*Bacillus* 相關菌株與其他耐熱微生物來源，支持「耐熱性是工業液化酵素的重要屬性」這一技術方向 [20]。

**較需要保守表述的主張是：**最終酒精收率或整體經濟效益會提高多少。液化通常能改善澱粉利用與操作穩定性，但發酵產率還受到糖化、酵母、營養、抑制物、污染、設備與原料差異影響。玉米種子澱粉可消化性、不同澱粉原料糖化、以及生物乙醇發酵研究都顯示，最終產量是多因素結果，不能只由單一液化酵素推論 [11]。

## 使用邏輯：放在製程中的哪一段？

高溫  $\alpha$ -澱粉酶通常用於澱粉已調漿並受熱糊化的液化階段。實務上，使用者會先讓澱粉質原料與水形成可攪拌漿料，再透過加熱使澱粉顆粒膨潤與糊化；酵素在此時或相近流程位置作用於已暴露的澱粉鏈，使黏度下降並產生糊精。此邏輯與多數澱粉水解研究一致：液化先處理高分子澱粉，糖化再把糊精轉為更多可發酵糖或目標糖 [8]。

使用表現會受到固形分、原料粒徑、糊化程度、pH、水質、攪拌效率、保溫時間與後續糖化設計影響。若原料粉碎不足，酵素接觸面積可能受限；若加熱不均，部分澱粉未充分糊化，水解也會受影響；若混合不良，則可能出現局部過黏或局部液化不足。固定化  $\alpha$ -澱粉酶與澱粉水解動力學研究都提醒，酵素反應不只是酵素本身的問題，也受底物傳質、接觸狀態與反應環境左右 [21]。

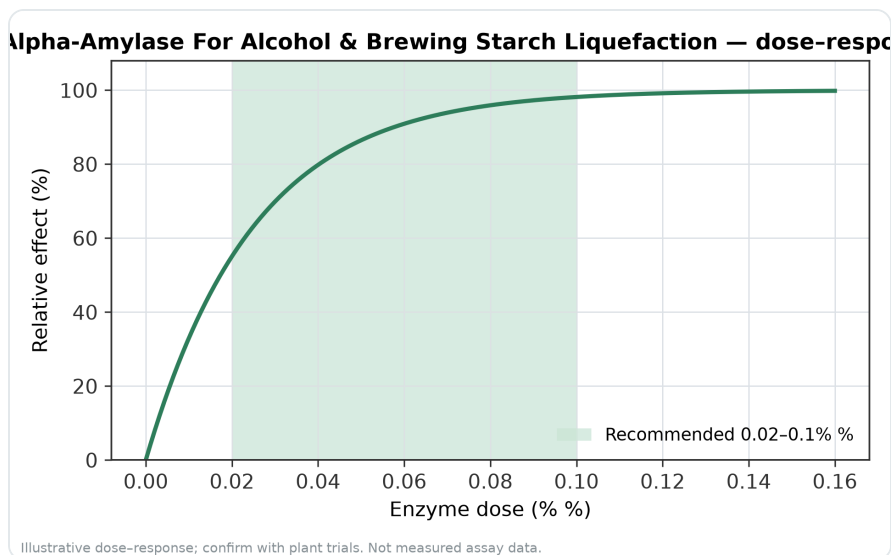


Figure 7. 用於酒精與釀造澱粉液化的高溫  $\alpha$ -澱粉酶在建議使用範圍 ( 0.02–0.1% ) 內的示意劑量反應。

## 與 Enzymes.bio 供應形式相關的實務說明

Enzymes.bio 是供應商，不是製造商，也不是第三方實驗室；因此，使用者應將此產品頁與隨貨文件視為供應與文件管理資訊，而不是製造端製程宣稱。High Temperature Alpha-Amylase For Alcohol & Brewing Starch Liquefaction 以 1 kg 單位在線上直接銷售，適合已具備自身製程條件、工廠管理與應用判斷能力的使用者；CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，便於採購、倉儲、安全與品質文件留存。

此產品的合理應用邊界也應清楚：它用於酒精、釀造與澱粉加工中的液化與降黏，不是直接食用產品，也不是完整發酵配方。若製程需要達到特定糖譜、特定可發酵糖比例或特定酒精濃度，仍需搭配適當的糖化、發酵與製程控制。酵素法葡萄糖漿與澱粉水解回顧顯示，不同澱粉來源與不同目標產物，通常需要將液化與糖化視為連續且可調整的流程 [8]。

## 限制與注意事項

高溫  $\alpha$ -澱粉酶不能水解所有澱粉鍵結，也不能單獨完成所有糖化需求。由於支鏈澱粉含有  $\alpha$ -1,6 分支點，單靠  $\alpha$ -澱粉酶可能留下不同分支糊精；若目標是更深度糖化，常需要其他酵素配合。熱穩定  $\alpha$ -葡聚糖磷酸化酶與其他澱粉相關酵素的工業應用研究也反映出，澱粉轉化可涉及多種催化路徑，不同酵素在產物分布與應用目的上並不相同 [22]。

此外，「高溫型」不代表在任何高溫、任何 pH、任何原料中都能維持相同效果。酵素蛋白仍可能受極端熱處理、長時間暴露、抑制性成分、金屬離子環境、剪切與原料雜質影響。堆肥來源耐熱澱粉酶產生菌的分離研究與其他耐熱酵素研究指出，耐熱性是可篩選與表徵的重要特性，但不同來源與不同製品的穩定性仍有差異 [23]。

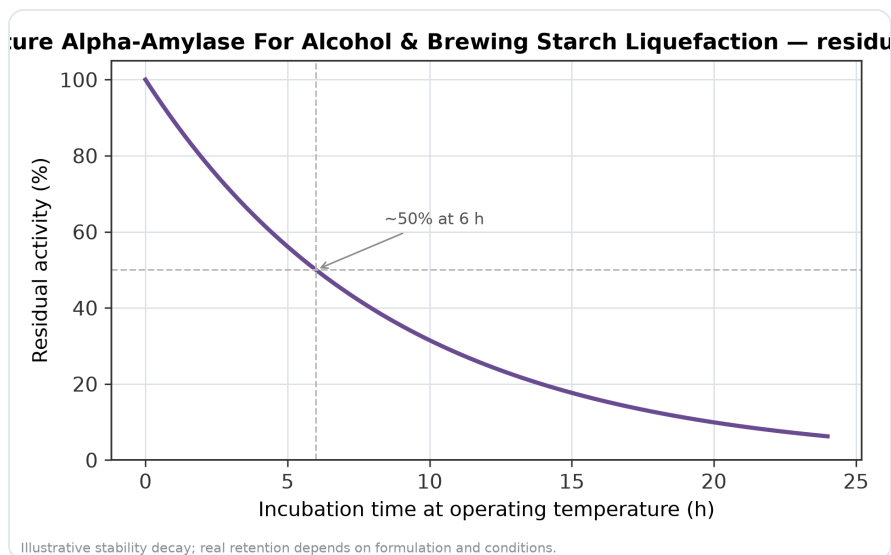


Figure 8. 用於酒精與釀造澱粉液化的高溫  $\alpha$ -澱粉酶之示意熱穩定性衰減——在操作溫度下，殘餘活性會隨時間下降。

最後，最終酒精或釀造成效不應只歸因於液化酵素。即使液化段良好，糖化酵素配置、酵母活力、營養鹽、發酵溫度、抑制物與衛生控制仍會決定最終結果。對糙米、木薯、塊莖澱粉與其他原料的液化糖化研究皆顯示，最佳結果通常來自原料、酵素與製程條件的整合，而非單一變因 [24]。

## 結論

High Temperature Alpha-Amylase For Alcohol & Brewing Starch Liquefaction 的核心技術價值，是在酒精、燃料乙醇、啤酒釀造與澱粉加工的液化段，將糊化後的高分子澱粉切成較短糊精，快速降低黏度並改善攪拌、泵送、熱傳與後續糖化的可操作性。其作用機制清楚、產業定位明確，並受到  $\alpha$ -澱粉酶水解機制、耐熱酵素研究與多種澱粉原料液化研究支持 [1]。

較精準的理解是：高溫  $\alpha$ -澱粉酶是「液化與降黏工具」，不是完整糖化、發酵或產量保證工具。它能夠為後續糖化與發酵建立更均一、更可處理的糊精基質，但最終糖化效率、酒精產量與釀造表現仍取決於原料、設備、酵素組合與整體製程條件。Enzymes.bio 以 1 kg 單位在線上供應此產品，並隨訂單提供 CoA 與 SDS，適合需要在既有酒精、釀造或澱粉液化流程中導入高溫  $\alpha$ -澱粉酶的專業使用者。

## 線上訂購 High Temperature Alpha-Amylase For Alcohol & Brewing Starch Liquefaction

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 High Temperature Alpha-Amylase For Alcohol & Brewing Starch Liquefaction →](#)

### 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. Kholikov, A., Vokhidov, K., Murtozoyev, A., Tóth, Z. S., Nagy, G., Vértessy, B. G., & Makhsumkhanov, A. A. (2025). Characterization of a Thermostable  $\alpha$ -Amylase from *Bacillus licheniformis* 104.K for Industrial Applications. *Microorganisms*, 13.
2. Arif, A., Sasmitaloka, K. S., Winarti, C., & Wahyudiono (2019). Effect of liquefaction time and enzyme addition on liquid sugar production from sweet sorghum starch by enzymatic hydrolysis. *IOP Conference Series: Earth and Environment*, 250.
3. Dyartanti, E., Margono, M., Nurohmah, A. R., Nisa, S. S., & Riantosa, N. (2021). Two Step and Direct Fermentation in the Production of Ethanol from Starch: A Short Review.
4. George, R., & George, J. J. (2020). Thermostable Alpha-Amylase and Its Activity, Stability and Industrial Relevance Studies. *Social Science Research Network*.
5. Stamford, T. M., Stamford, N., Coelho, L., & Araújo, J. M. (2001). Production and characterization of a thermostable alpha-amylase from *Nocardia* sp. endophyte of yam bean. *Bioresource Technology*, 76 2, 137-41 .
6. 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*.
7. Pele, G., Bolade, M. K., Enujiugha, V., Sanni, D. M., & Ogunsua, A. O. (2021). Optimization of the liquefaction steps of breadfruit starch hydrolysis by alpha-amylase using a statistical approach.
8. Musdalifa, M., Laga, A., & Rahman, A. N. (2024). Glucose syrup production through enzymatic methods and acid hydrolysis using different starch sources: a systematic review. *Journal of Food Measurement & Characterization*, 18, 8976 - 8992.
9. Vučurović, V., Katanski, A., Vučurović, D., Bajić, B., & Dodić, S. (2025). Simultaneous Saccharification and Fermentation of Wheat Starch for Bioethanol Production. *Fermentation*.
10. Mahima, Taggar, M. S., Garg, T., Kalia, A., & Jain, C. (2025). Liquefaction and Saccharification of High and Low Amylose Corn for Ethanol Production. *Agricultural Research Journal*.

11. Niu, L., Liu, L., Zhang, J., Scali, M., Wang, W., Hu, X., & Wu, X. (2023). Genetic Engineering of Starch Biosynthesis in Maize Seeds for Efficient Enzymatic Digestion of Starch during Bioethanol Production. *International Journal of Molecular Sciences*, 24.
12. Almuhammad, M., Kölling, R., & Einfalt, D. (2025). Effect of liquefaction temperature and enzymatic treatment on bioethanol production from mixed waste baked products. *BMC Biotechnology*, 25.
13. Girón-Orozco, D., Mariezcurrena-Berasáin, M. D., Heredia-Olea, E., & Vargas-Flores, O. R. (2025). Development of a Triticale-Based Amylolytic Biocatalyst for Starch Hydrolysis With Applications in Brewing Wort Sugar Enhancement. *Food Bioengineering*.
14. Application Of Enzymes In Starch Processing 59. *Creative-enzymes*.
15. Dewi, S. S., Supangkat, G., & Hastomo, T. (2025). Comparison of starch-based liquid sugar production from local cassava. *Asian Journal of Agriculture*.
16. Rafael-Ayala, A., & Vejarano, R. (2024). Ethanol production from Oxalis tuberosa starch: study of enzymatic hydrolysis and alcoholic fermentation. *Proceedings of the LACCEI international multi-conference for engineering, education and technology*.
17. 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*.
18. Fernandez, M. A., Rodríguez, L. M., Morales, P. E., & Vega, C. S. (2025). Development of kinetic models for predicting alpha-amylase activity during enzymatic hydrolysis of native and modified starch substrates. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*.
19. Vala, V., Suhagia, T. A., Raina, V., Gurjar, A., Srivastava, S. K., Jain, P., & Alle, M. (2025). Thermostable amylases from thermophilic microbes: advances in production, engineering, and industrial applications. *Nanotechnology*, 37.
20. Rodrigo, W. W. P., Magamulla, L. S., Thiwanka, M. S., & Yapa, Y. M. S. M. (2022). Optimization of Growth Conditions to Identify the Superior *Bacillus* Strain Which Produce High Yield of Thermostable Alpha Amylase. *Advances in Enzyme Research*.
21. R, H., & Narula, A. (2022). Kinetics of immobilized alpha amylase impregnated with silver nanoparticles in Egg Shell Membrane for enhanced starch hydrolysis. *Egyptian Journal of Chemistry*.
22. Ubiparip, Z., Beerens, K., Franceus, J., Vercauteren, R., & Desmet, T. (2018). Thermostable alpha-glucan phosphorylases: characteristics and industrial applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102, 8187 - 8202.
23. Bandara, Y. (2024). Isolation and identification of thermostable amylase enzyme producing bacteria from compost production plant in Kurunegala. *The 24th International Postgraduate Research Conference*.
24. Jang, S., Yu, H. H., Kim, J., & Jang, M. (2026). Optimizing brown rice liquefaction and saccharification using response surface methodology for grain ethanol production. *Scientific Reports*, 16.


## 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。