

Pullulanase 液態酵素用於澱粉水解：葡萄糖與麥芽糖糖漿生產的去支鏈應用

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

Pullulanase 是用於澱粉糖化的去支鏈酵素，主要切斷支鏈澱粉與極限糊精中的 α -1,6 糖苷鍵，使後續澱粉酶更容易把底物轉成葡萄糖或麥芽糖。

在葡萄糖糖漿與麥芽糖糖漿製程中，液態 pullulanase 通常不是單獨完成水解，而是與 α -amylase、glucoamylase、 β -amylase 或其他糖化酵素形成互補酶系，以提升糖化程度、降低分支糊精殘留，並改善目標糖組成的一致性。

Enzymes.bio 供應的 **Pullulanase Enzyme Liquid For Starch Hydrolysis In Glucose And Maltose Syrup Production** 是面向澱粉水解應用的液態酵素產品，線上以 1 kg 單位銷售，CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，便於客戶納入既有文件管理流程。

酵素名稱與主要應用

本產品的酵素名稱為 **Pullulanase**，中文常稱為普魯蘭酶或去支鏈酵素；其主要應用是澱粉水解、糖化，以及葡萄糖糖漿與麥芽糖糖漿製程中的分支鏈處理。Pullulanase 在澱粉加工領域受到重視，原因在於天然澱粉並非完全線性聚合物，支鏈澱粉 amylopectin 含有大量 α -1,6 分支點，這些分支點會限制外切型糖化酵素連續釋放葡萄糖或麥芽糖的效率^[1]。

在典型澱粉糖漿製程中， α -amylase 先於液化階段切斷 α -1,4 鍵、降低糊化澱粉漿黏度；糖化階段再由 glucoamylase、 β -amylase 或其他澱粉水解酵素生成目標糖。Pullulanase 的角色是補上「去支鏈」這一段，使分支糊精轉為較線性的可水解鏈段，減少因 α -1,6 鍵造成的反應停滯^[2]。

Enzymes.bio 在此產品中的定位是供應商，而非製造商或檢測實驗室；因此，本文聚焦於 pullulanase 在澱粉水解中的技術機制、工藝價值與文獻證據，不將內容寫成生產端宣稱，也不提供產品活性規格或分析程序。液態型態的優點通常在於較容易計量、分散與導入現有糖化槽流程，但實際製程表現仍需依原料、糊化狀態、pH、溫度、糖化時間與既有酶系而定。

為什麼澱粉糖化需要去支鏈酵素

澱粉主要由直鏈澱粉 amylose 與支鏈澱粉 amylopectin 組成。Amylose 多為 α -1,4 鍵連接的線性葡萄糖鏈；amylopectin 則在 α -1,4 主鏈上帶有 α -1,6 分支。液化後的澱粉漿雖然黏度下降，仍可能含有大量分支糊精，而這些分支結構會降低後續糖化酵素對鏈端的可及性^[1]。

Glucosylase 能自非還原端逐步釋放葡萄糖，但遇到 α -1,6 分支點時反應效率下降； β -amylase 則以產生麥芽糖為主，但同樣會被分支結構限制。因此，若製程只依賴 α -amylase 與單一糖化酵素，常見結果是糖化後仍殘留分支寡糖、極限糊精或非目標低聚糖，導致葡萄糖或麥芽糖比例不如預期^[3]。

Pullulanase 的核心價值就在於切開這些 α -1,6 鍵。當分支點被打開後，原本受阻的短鏈變成較適合外切酵素處理的線性鏈段，後續可更順利地轉成葡萄糖、麥芽糖或特定寡糖。這種協同效應是 pullulanase 在葡萄糖糖漿與高麥芽糖糖漿製程中被廣泛討論的主要原因^[2]。

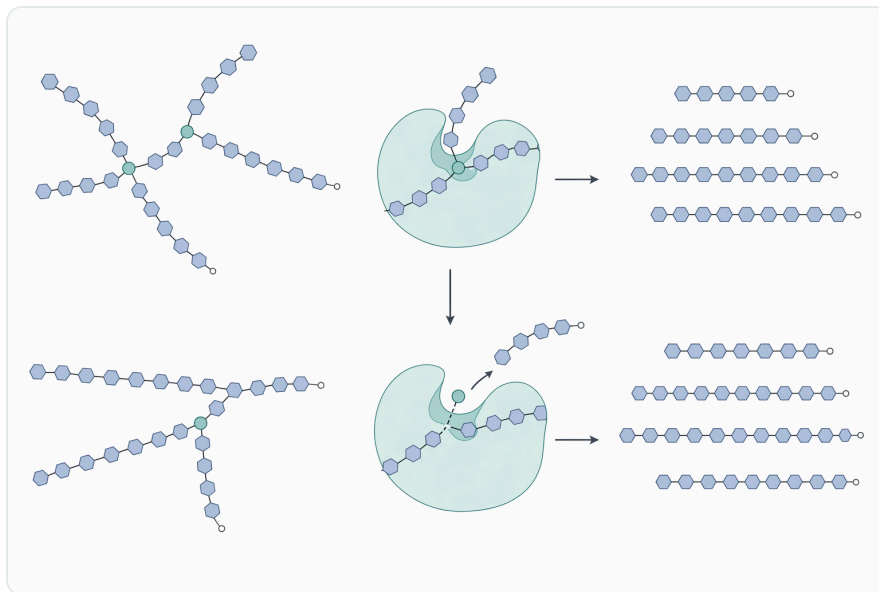


Figure 1. 普魯蘭酶可切開支鏈澱粉衍生糊精中的 α -1,6 分支鍵結，產生更線性的葡聚糖鏈，以利後續水解。

Pullulanase 的作用機制：從分支糊精到可糖化鏈段

Pullulanase 屬於水解 α -1,6 糖苷鍵的去支鏈酵素，對 pullulan、支鏈澱粉與部分極限糊精中的分支鍵具有功能意義。就澱粉糖化而言，它不是把所有澱粉直接轉成單糖，而是解除分支障礙，使其他酵素能更完整地作用於 α -1,4 線性鏈段^[1]。

可以把澱粉水解想成兩個層次：第一層是把高分子澱粉降黏、切成較短糊精；第二層是把這些糊精轉成目標糖。 α -amylase 主要處理第一層，glucosylase 或 β -amylase 主要處理第二層，而 pullulanase 橫跨兩者之間的限制點：它不以降黏為主，也不以單獨釋放大量葡萄糖為主，而是讓分

支糊精從「難糖化」變成「可被糖化」^[3]。

在葡萄糖糖漿路線中，pullulanase 與 glucoamylase 的搭配尤其關鍵。去支鏈後，glucoamylase 可從更多非還原端持續釋放葡萄糖，因此常可提高最終葡萄糖比例並降低殘餘糊精。在麥芽糖糖漿路線中，去支鏈則可讓 β -amylase 或麥芽糖生成型酵素更有效地產生麥芽糖，降低因分支點造成的反應中止^[4]。

與 α -amylase、glucoamylase 的工藝互補

Pullulanase 很少被視為澱粉水解的唯一酵素；它更像是糖化酶系中的結構調節工具。 α -amylase 把糊化澱粉切成較低黏度的糊精，為後續反應創造流動性與底物表面；glucoamylase 將線性或近線性糊精轉成葡萄糖；pullulanase 則減少分支糊精造成的「死角」^[5]。

對葡萄糖糖漿而言，若糖化後仍有分支寡糖殘留，下游精製可能需要面對較複雜的糖組成與較高非目標固形物。Pullulanase 的加入可把分支結構先行拆解，讓 glucoamylase 更接近完全糖化，這也是許多研究把 pullulanase 視為提高澱粉轉化率與改善糖組成的重要輔助酵素的原因^[2]。



Figure 2. 在澱粉糖漿加工中，普魯蘭酶通常配置於糊化與液化之後，此時可溶性的分支糊精已可供去分支與糖化反應使用。

對麥芽糖糖漿而言，pullulanase 的效果不只是「提高水解程度」，而是影響麥芽糖生成酵素可連續切割的鏈長與鏈端數量。早期以稻米製備高麥芽糖糖漿與高蛋白粉的酵素法研究，即已顯示澱粉原料經合適酶系處理後，可將澱粉資源導向特定糖漿產品，而去支鏈概念正是提高此類流程可控性的關鍵之一^[4]。

製程位置：通常在糖化階段發揮最大價值

Pullulanase 常見的導入位置是在液化後的糖化階段，原因是液化已先降低澱粉漿黏度並產生可接觸的糊精底物。若在尚未充分糊化或液化的條件下加入，底物可及性可能不足；若太晚加入，分支糊精可能已成為殘留糖組成中的限制因素，延長達到目標糖譜所需時間^[1]。

在葡萄糖糖漿製程中，實務上常見思路是讓 pullulanase 與 glucoamylase 在相近糖化條件下共同作用，或依工廠既有酶系安插序列加入。此處重點不是固定某一種添加順序，而是確保 pullulanase 能在分支糊精仍是主要限制因素時發揮作用，並讓後續外切酵素能利用去支鏈後的線性鏈段^[3]。

在麥芽糖糖漿製程中，pullulanase 的導入則需配合目標糖組成。若目標是提高麥芽糖比例，去支鏈程度、糖化酵素種類、反應時間與原料結構都會共同影響最終產物；過度追求完全水解未必符合高麥芽糖糖漿的產品方向，因此 pullulanase 在此應被視為調控糖譜的工具，而非單純追求最大葡萄糖生成的工具^[4]。

Pullulanase 對葡萄糖糖漿與麥芽糖糖漿的差異化價值

應用場景	主要限制	Pullulanase 的作用	預期工藝價值
葡萄糖糖漿	支鏈糊精阻礙 glucoamylase 進一步釋放葡萄糖	切斷 α -1,6 分支鏈，增加可被外切酵素處理的線性鏈段	提高糖化完整度、降低殘留糊精、改善葡萄糖比例
麥芽糖糖漿	β -amylase 或麥芽糖生成酵素遇分支點後反應受限	去支鏈後延長可連續釋放麥芽糖的鏈段	提高麥芽糖生成效率，改善糖譜可控性
特殊澱粉改質	原澱粉分支結構影響回生、結晶與消化性	透過去支鏈改變鏈長分布與重排行為	可用於慢消化澱粉或抗性澱粉相關開發
高固形物糖化	黏度、底物可及性與殘留分支糊精共同限制轉化	與液化、糖化酵素互補，減少分支造成的反應瓶頸	可能縮短達到目標糖組成的時間，需依製程驗證

葡萄糖糖漿與麥芽糖糖漿都受益於去支鏈，但目標並不相同。葡萄糖糖漿通常重視更高糖化程度與更少殘留糊精；麥芽糖糖漿則重視麥芽糖比例與副糖控制。因此，pullulanase 的價值必須放在最終糖譜目標中理解，而不是把所有澱粉水解流程都視為同一種「越完全越好」的反應^[3]。

原料差異：玉米、木薯、稻米、甘藷與其他澱粉

不同植物澱粉的顆粒結構、直鏈澱粉比例、支鏈長度分布與糊化特性並不相同，這些因素會影響 pullulanase 的實際效益。玉米澱粉、木薯澱粉、稻米澱粉、甘藷澱粉與豆類澱粉在液化後產生的糊精組成可能不同，因此去支鏈後對葡萄糖或麥芽糖生成的提升幅度也可能不同^[6]。

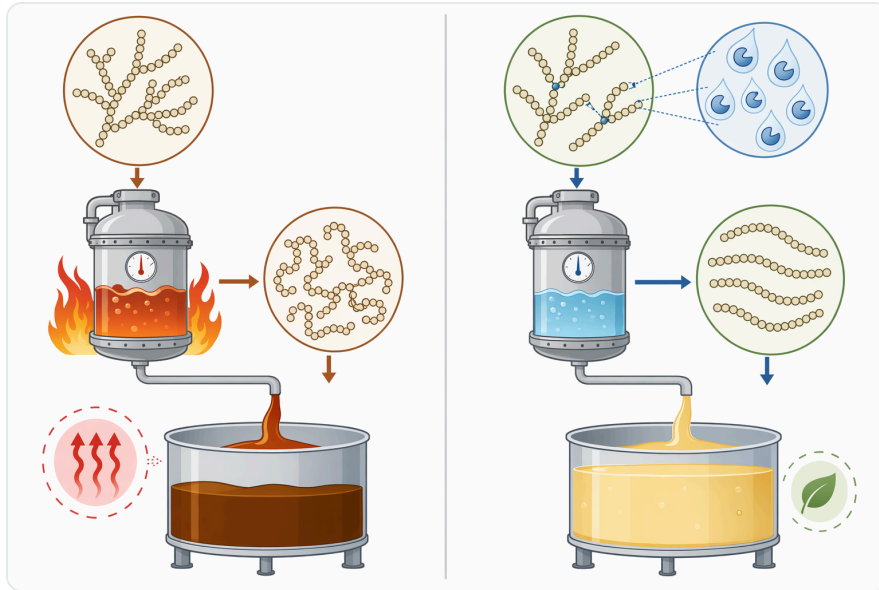


Figure 3. α -澱粉酶、普魯蘭酶、葡萄糖澱粉酶與產麥芽糖酶分別作用於澱粉的不同結構特徵，因此在糖漿生產中扮演互補角色。

以甘藷澱粉糖漿為例，近年的酵素製程放大研究顯示，澱粉來源、酵素組合與製程條件的交互作用會影響糖漿產率與品質；這類研究提醒使用者，pullulanase 的導入不是孤立變數，而是與原料前處理、液化程度及糖化環境共同決定結果^[6]。

在稻米或糙米相關糖漿製程中，澱粉糖化效率也會受到原料萌發、內源性澱粉酶活性與熱處理條件影響。糙米糖漿研究顯示，原料生理狀態與糖化溫度會改變澱粉糖化程度；外加 pullulanase 時，也應把這些原料背景因素納入判讀，而非僅以單一酵素效果解釋成品差異^[7]。

文獻證據：去支鏈提高糖化效率的基礎相當明確

Pullulanase 在澱粉加工中的角色已被多篇綜述與應用研究討論。相關文獻普遍指出， α -1,6 分支鍵是支鏈澱粉與極限糊精糖化的主要障礙之一，而 pullulanase 可藉由去支鏈提升後續酵素水解效率，特別是在葡萄糖糖漿、高麥芽糖糖漿與澱粉改質應用中具備明確技術意義^[1]。

在箭root 澱粉製備葡萄糖糖漿的研究中， α -amylase、glucoamylase 與 pullulanase 的協同水解被用來提高葡萄糖糖漿生成，這類結果支持「液化酵素 + 糖化酵素 + 去支鏈酵素」的組合思路，而非依賴單一酵素完成所有結構轉換^[3]。

針對稻米高麥芽糖糖漿的酵素法研究也顯示，透過適當酶系處理可將澱粉導向高麥芽糖產品，同時保留其他有價值副產物，如高蛋白粉。雖然不同研究使用的酵素組合與原料條件各異，但共同點是：澱粉結構的可及性與分支處理會直接影響糖漿路線的效率與選擇性^[4]。

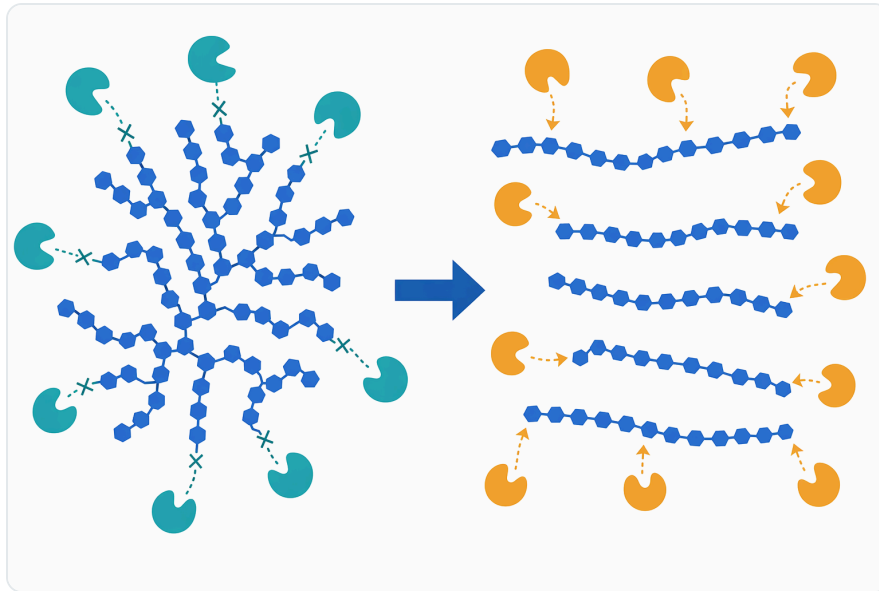


Figure 4. 去分支會移除分支障礙並增加可接近的線性鏈區域，從而改變糊精群的幾何結構。

近年也有研究針對耐熱或特殊來源 pullulanase 進行工程化，以改善其在玉米澱粉利用、麥芽寡糖與葡萄糖生成中的表現。這類研究並不代表所有商用品都具備相同特性，但反映出工業界持續關注 pullulanase 在高溫、高固形物或整合式澱粉水解流程中的應用潛力^[8]。

對下游精製與發酵的意義

糖漿製程的目標不只是把澱粉「水解掉」，而是得到符合用途的糖組成。若糖化液含有較多分支寡糖、殘留糊精或非目標低聚糖，下游濃縮、脫色、離子交換或發酵使用時，可能面臨較高負荷與較不穩定的批次表現。Pullulanase 透過降低分支糊精比例，可在前段糖化階段改善後段處理的基礎條件^[2]。

對發酵用葡萄糖糖漿而言，較高比例的可發酵糖通常有利於微生物利用，因為許多工業菌株對葡萄糖的利用速度與代謝路徑較直接。若糖化液中殘留較多難利用寡糖，可能降低有效碳源轉換效率；因此，pullulanase 與 glucoamylase 的協同在發酵原料供應鏈中也具有工藝意義^[1]。

對甜味劑與食品配方用糖漿而言，糖譜會影響甜度、黏度、結晶傾向、保水性與加工穩定性。Pullulanase 並不直接決定所有感官特性，但它透過調整分支糊精與目標糖比例，間接影響糖漿在配方中的表現，尤其是需要穩定葡萄糖或麥芽糖比例的應用^[4]。

與慢消化澱粉、抗性澱粉等改質應用的關聯

除了糖漿生產，pullulanase 也常被用於澱粉改質研究。去支鏈後的短鏈澱粉在冷卻或特定處理條件下較容易重新排列，形成不同結晶或回生結構，進而改變澱粉的消化速率。甘藷澱粉經 pullulanase 水解後形成慢消化澱粉的研究，即說明去支鏈不只會提高糖化，也可被用來調整澱粉的消化性與結構特徵^[9]。

這類應用與葡萄糖糖漿製程的目標不同：糖漿製程通常希望提高可溶性糖，而慢消化或抗性澱粉開發則常希望控制鏈段重排、降低快速消化比例。因此，同一個酵素在不同流程中可能扮演相反方向的角色；關鍵在於反應終點、熱處理條件與後續乾燥或回生設計^[9]。

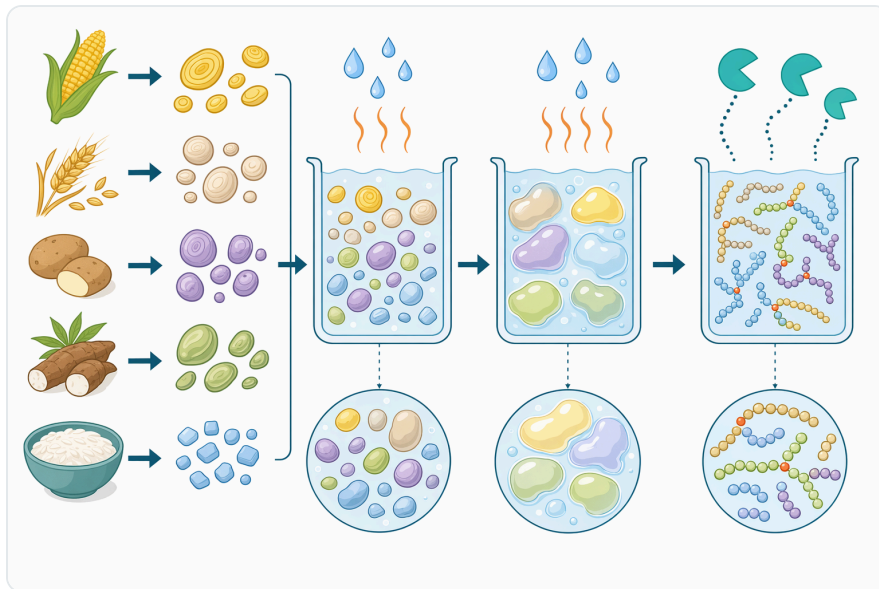


Figure 5. 植物來源的澱粉結構與前處理方式會影響 α -1,6 分支鏈結對普魯蘭酶的可及性。

對 B2B 客戶而言，這代表 pullulanase 的採購與導入不應只看「能否水解澱粉」，而應先釐清產品方向：是要高葡萄糖、高麥芽糖、特定寡糖，還是澱粉結構改質。不同方向需要不同酶系搭配與製程控制，pullulanase 的價值則體現在它能精準處理 α -1,6 分支鏈這一個結構瓶頸^[1]。

安全與法規判讀：需依酵素來源與使用情境區分

食品與糖漿應用中的酵素安全性通常取決於微生物來源、製程、純化、殘留風險與預定用途，而不是只由「pullulanase」這個名稱決定。歐洲食品安全評估曾針對一種來自基因改造 *Bacillus licheniformis* 菌株的 pullulanase 食品酵素進行安全評估，並在其設定的使用條件下作出相應結論；此類資料可作為理解 pullulanase 類食品酵素評估邏輯的參考，但不能自動等同於所有來源或所有商品^[10]。

因此，在實際應用於食品、發酵或其他受管制產業時，使用者仍需依所在地法規與自身產品用途判斷適用要求。Enzymes.bio 隨訂單提供 CoA 與 SDS，有助於收貨、倉儲與內部文件管理，但法規適用性與產品標示責任仍需由使用者依市場與最終用途確認。

液態 pullulanase 的操作與保存考量

液態酵素通常便於在糖化槽中分散，也較容易與既有液態酶系整合。對連續或批次糖化流程而言，液態型態有助於降低預溶或混合不均的問題；但酵素仍屬蛋白質，長時間暴露於不適當溫度、極端 pH 或可能造成變性的化學環境，都可能降低有效表現^[1]。

實務導入時，應把 pullulanase 視為糖化段的一個功能變數，並與液化終點、固形物濃度、糖化 pH、糖化溫度、攪拌與反應時間一併評估。本文不提供固定添加量或活性規格，因為不同原料與既有酶系差異很大，且 Enzymes.bio 作為供應商並非製程設計實驗室；產品相關文件會隨訂單提供，供客戶納入內部品質與安全流程。

經濟效益：來自轉化率、時間與下游負荷的綜合改善

Pullulanase 的經濟價值通常不是單一成本項目可以判斷，而要看整條澱粉糖漿線的平衡。若去支鏈能提高目標糖比例、縮短達到目標糖譜所需時間、降低殘留糊精或減少下游精製負荷，則其價值可能體現在產率、批次週期、能耗與成品穩定性上^[2]。

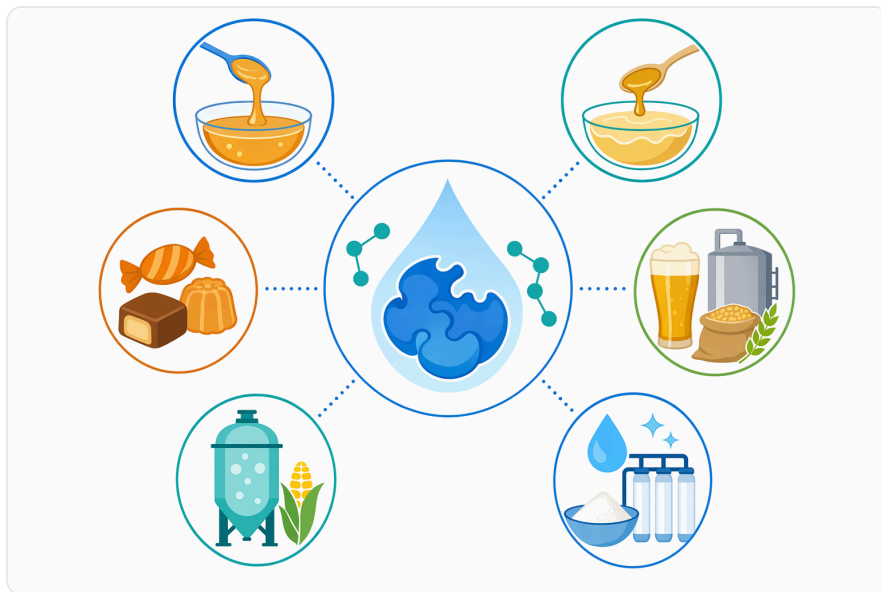


Figure 6. 相同的普魯蘭酶去分支作用，依搭配的酵素系統不同，可支援葡萄糖糖漿、麥芽糖糖漿或可發酵糖液的生產。

然而，pullulanase 並不保證在每一種流程中都帶來相同幅度改善。若原料本身分支限制不明顯、液化條件不足以暴露底物、糖化酵素搭配不合適，或最終產品並不需要高糖化程度，則去支鏈酵素的邊際效益可能較低。因此，較合理的導入邏輯是把它放入既有製程目標中評估，而非把它視為通用增效添加物^[6]。

對葡萄糖糖漿廠而言，最直接的觀察重點通常是葡萄糖比例、殘留糊精、糖化時間與後段處理負荷；對麥芽糖糖漿廠而言，則應更重視麥芽糖比例、非目標糖生成與批次一致性。這些指標皆與 α -1,6 分支處理有關，但最終仍受原料、酵素組合與操作條件共同影響^[4]。

與新型 pullulanase 研究的連結

近年 pullulanase 研究集中在幾個方向：尋找更適合工業條件的微生物來源、提高酵素在高溫或特定 pH 下的穩定性、改善表現系統，以及探索固定化或連續化應用。這些研究顯示 pullulanase 的工業價值已從單純「可去支鏈」進一步延伸到製程適配、成本控制與長時間運轉穩定性^[11]。

例如，工程化高溫 pullulanase 被用於提升玉米澱粉轉化為麥芽寡糖與葡萄糖的效率，說明酵素特性與製程條件匹配時，可拓展澱粉水解的操作空間。不過，這類研究多屬特定酵素、特定底物與特定條件的結果，不宜直接推論到所有市售液態 pullulanase^[8]。

另有研究聚焦於 pullulanase 生產策略，例如表現系統優化與生物膜固定化發酵，以提升酵素取得效率。這些資料有助於理解 pullulanase 為何在產業中具備持續開發價值，但對使用者而言，更重要的是產品在自身澱粉糖化流程中的可整合性與結果穩定性^[11]。

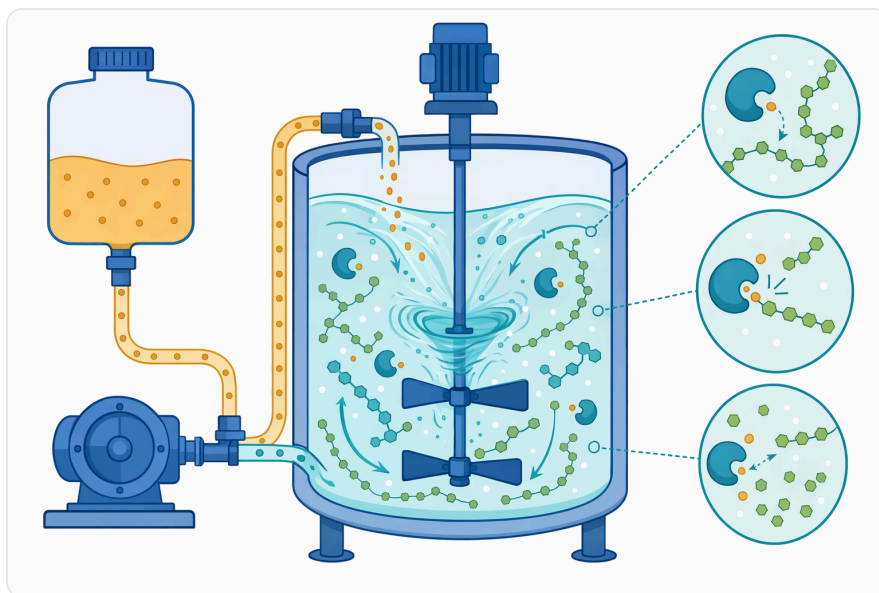


Figure 7. 液態普魯蘭酶劑型有助於計量添加並分散至水相澱粉水解料流中。

Enzymes.bio 供應形式與文件配合

Enzymes.bio 提供的 **Pullulanase Enzyme Liquid For Starch Hydrolysis In Glucose And Maltose Syrup Production** 面向需要澱粉水解與糖漿生產應用的 B2B 使用者，線上以 1 kg 單位銷售。此供應形式適合需要直接購買並導入內部評估或既有流程的客戶；CoA 與 SDS 會隨訂單提供，用於收貨、倉儲、安全與品質文件管理。

需特別區分的是，供應商提供的是產品與隨貨文件，不等同於替客戶完成工廠製程設計、法規判定或成品品質保證。Pullulanase 在澱粉水解中的機制與文獻支持相當清楚，但每條糖漿線的原料、設備、酶系、熱歷程與產品規格不同，導入結果仍應以使用者自身流程資料為準^[1]。

技術結論

Pullulanase 液態酵素在葡萄糖與麥芽糖糖漿生產中的核心作用，是切斷支鏈澱粉與分支糊精中的 α -1,6 糖苷鍵，解除 glucoamylase、 β -amylase 或其他糖化酵素在分支點前的限制。這種去支鏈作用能把難以完全糖化的分支糊精轉為較容易水解的線性鏈段，因此在提高葡萄糖比例、改善麥芽糖生成、降低殘留糊精與穩定糖譜方面具有明確工藝意義^[2]。

從文獻證據來看，pullulanase 與其他澱粉酶的協同水解已在葡萄糖糖漿、高麥芽糖糖漿與澱粉改質研究中反覆被討論；其價值不是取代液化或糖化酵素，而是補足 α -1,6 分支鍵這一個單靠 α -1,4 水解酵素難以有效處理的結構限制^[3]。

對需要澱粉水解酵素的 B2B 使用者而言，Enzymes.bio 供應的液態 pullulanase 可作為既有糖化流程中的去支鏈選項。合理的期待是：在適合的原料、酶系與製程條件下，它可提升目標糖生成效率並改善糖化完整度；但最終成效仍需由使用者依自身葡萄糖糖漿或麥芽糖糖漿流程進行確認。

線上訂購 Pullulanase Enzyme Liquid For Starch Hydrolysis In Glucose And Maltose Syrup 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 Pullulanase Enzyme Liquid For Starch Hydrolysis In Glucose And Maltose Syrup 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. [Frontiers | Pullulanase: unleashing the power of enzyme with a promising future in the food industry.](#) *Frontiersin*.
2. [E1E5521970C0F6Bfa1689B4F9Ae8E3D8Ba04F6F7](#). *Semantic Scholar*.
3. Yunianta, Y., Sulisty, T., Apriliastuti, A., Estiasih, T., & Wulan, S. N. (2012). [Synergistic Hydrolysis of Arrowroot \(Marantha arundinaceae L.\) Starch by -Amylase, Glucoamylase, and Pullulanase for Glucose Syrup Production.](#)
4. Shaw, J., & Sheu, J. (1992). [Production of High-maltose Syrup and High-protein Flour from Rice by an Enzymatic Method.](#) *Bioscience, biotechnology and biochemistry*, 56 7, 1071-3 .
5. Aleem, B., Rashid, M., Zeb, N., Saqib, A., Ihsan, A., Iqbal, M., & Ali, H. (2018). [Random mutagenesis of super Koji \(Aspergillus oryzae\): improvement in production and thermal stability of \$\alpha\$ -amylases for maltose syrup production.](#) *BMC Microbiology*, 18.
6. Rezvanian, K., Gichuhi, P., & Bovell-Benjamin, A. (2025). [Response Surface Methodological Approach for Scaling Up an Enzymatic Production of Sweet Potato Starch Syrup.](#) *Journal of food processing and preservation*.
7. Wunthunyarat, W., Wong, E., Jinn, J., Wang, Y., & Mauromoustakos, A. (2019). [Effect of Germination Conditions and Mashing Temperature on the Amylolytic Enzyme Activity and Degree of Starch Saccharification of Brown Rice Cultivars During Syrup Production.](#) *Journal of Food Science*.
8. Xie, T., Zhou, L., Han, L., You, C., Liu, Z., Cui, W., Cheng, Z., ... et al. (2024). [Engineering hyperthermophilic pullulanase to efficiently utilize corn starch for production of maltooligosaccharides and glucose.](#) *Food Chemistry*, 446, 138652 .
9. Duong, H., Nguyen, T., Phùng, T., Le, T. V., Nguyen, T. C., Vu, T., & Luong, H. (2024). [Effect of hydrolysis of sweet potato starch by pullulanase enzyme on the formation of slowly digestible starch.](#) *Food Research*.
10. Lambré, C., Baviera, J. M. B., Bolognesi, C., Cocconcelli, P., Crebelli, R., Gott, D., Grob, K., ... et al. (2022). [Safety evaluation of the food enzyme pullulanase from the genetically modified Bacillus licheniformis strain NZYM-LU.](#) *EFSA journal. European Food Safety Authority*, 20.
11. Ren, P., Dong, Q., Zhou, C., Chen, T., Sun, W., Chen, Y., & Ying, H. (2025). [Enhanced pullulanase production through expression system optimization and biofilm-immobilized fermentation strategies.](#) *International Journal of Biological Macromolecules*, 139933 .


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。