

普魯蘭酶 Pullulanase Enzyme：用於成本有效啤酒釀造的支鏈澱粉去分支酵素

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

普魯蘭酶 (Pullulanase) 在啤酒釀造中的主要價值，是切開支鏈澱粉與極限糊精中的 α -1,6 分支鍵，讓 α -amylase、 β -amylase 或 amyloglucosidase 更容易把澱粉轉為可發酵糖。對使用米、玉米、高粱、蕎麥、未發芽穀物或其他副原料的酒廠而言，它可協助提高糖化完整度、支援較高發酵度，並讓配方成本與原料彈性更可控。Enzymes.bio 供應的 Pullulanase Enzyme For Cost Effective Beer Brewing 以 1 kg 單位線上直接銷售，CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供。

產品定位：用於啤酒糖化與副原料釀造的去分支酵素

Pullulanase Enzyme For Cost Effective Beer Brewing 是一種針對澱粉分支結構的釀造用酵素，主要應用於糖化段、含澱粉副原料的麥汁製備，以及追求高發酵度或較低殘留碳水的啤酒設計。它不是用來取代整套麥芽酵素系統，而是補足一般澱粉酶在支鏈澱粉分支點附近反應受限的部分；澱粉酵素改質文獻將 pullulanase 歸類為可改變澱粉分子結構與功能性質的重要酵素之一，核心作用在於處理支鏈結構中的 α -1,6 糖苷鍵 [1]。

在啤酒製程中，澱粉必須先被水解為酵母可利用的糖，才會進入有效發酵。大麥麥芽本身含有多種澱粉相關酵素，但其作用會受到溫度制度、原料組成與糖化時間影響；針對大麥麥芽等溫糖化的研究顯示，不同酵素的有效溫度範圍與麥汁組成密切相關，糖化不是單一反應，而是多種酵素共同塑造可發酵糖與糊精比例的結果 [2]。

對 B2B 釀造端而言，pullulanase 的商業意義通常不在於「加入後必然降低成本」，而在於它能让澱粉轉化更完整、讓副原料比例更有操作空間，並降低因糖化不足造成的萃取損失與批次波動。近年關於未發芽穀物搭配酵素製劑的釀造研究指出，外加酵素可協助處理非麥芽原料在內源酵素不足、澱粉可及性與麥汁組成上的限制，這正是 pullulanase 在成本有效啤酒釀造中的實務位置 [3]。

為什麼啤酒釀造會需要 Pullulanase ？

支鏈澱粉會限制一般澱粉酶的轉化效率

啤酒原料中的澱粉大致可分為直鏈澱粉與支鏈澱粉。直鏈澱粉主要由 α -1,4 鍵連接的葡萄糖單元組成；支鏈澱粉則含有大量 α -1,6 分支點。 α -amylase 可在澱粉鏈內部切割 α -1,4 鍵，快速降低黏度並形成糊精； β -amylase 可由非還原端釋放麥芽糖；amyloglucosidase 可進一步釋放葡萄糖。然而，當酵素接近分支點時，立體結構與鍵結型態會使反應變慢或停止，形成較難再被充分分解的極限糊精 [1]。

Pullulanase 的機制正是針對這個瓶頸：它透過去分支作用，切開支鏈澱粉與相關糊精中的 α -1,6 鍵，使原本被分支阻擋的鏈段重新暴露。這不代表 pullulanase 單獨就能完成全部糖化，而是讓後續或同步存在的 α -amylase、 β -amylase、amyloglucosidase 有更多可接近的線性鏈段，進而提高可發酵糖形成的可能性；多項澱粉改質研究也顯示，pullulanase 處理會改變澱粉的多尺度結構、消化性與理化特性，反映其對澱粉分子排列與分支結構具有實質影響 [4]。

副原料比例提高時，內源酵素常不足

使用米、玉米、高粱、蕎麥、未發芽大麥、小麥或回收麵包等澱粉來源，可讓啤酒廠調整成本、酒體、顏色、風味與供應鏈策略。然而，這些原料通常不像大麥麥芽一樣提供完整的內源酵素系統，且不同穀物的糊化特性、蛋白質含量、 β -葡聚糖、澱粉顆粒結構與可發酵氮來源皆不同。未發芽穀物釀造研究指出，酵素製劑可用於補足副原料在糖化與麥汁品質上的限制，使較高比例替代原料的使用更具可行性 [3]。

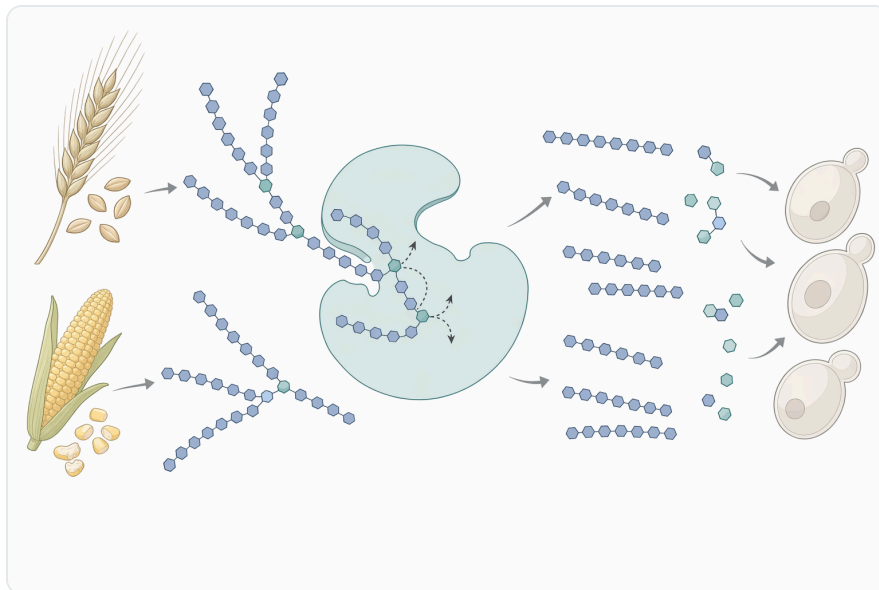


Figure 1. 普魯蘭酶會切開支鏈澱粉衍生糊精中的 α -1,6 分支點，使這些片段更容易被糖化酶作用。

蕎麥釀造研究也顯示，非傳統穀物可提供特殊風味與功能性，但在麥汁製備、糖化效率與感官表現上需要更精細的製程控制。這類原料導入時，pullulanase 可作為澱粉去分支工具，搭配其他澱粉酶共同改善可發酵糖生成，而不是把所有轉化責任都交給麥芽本身的酵素活性 [5]。

高發酵度、乾爽口感與低殘糖風格需要更完整的糊精管理

高發酵度啤酒、乾爽型拉格、低碳水啤酒與部分高度發酵特殊風格，通常希望麥汁中可發酵糖比例較高、殘留糊精較低。Pullulanase 透過降低分支糊精的阻礙，可支援更徹底的糖化路徑，尤其在與 amyloglucosidase 搭配時更具意義。這種策略的關鍵不是單純「增加甜度」，而是改變糖組成：把部分原本較不易發酵的糊精轉向酵母可利用的糖，讓最終酒體更乾爽、尾韻更俐落 [2]。

不過，高發酵度並不等於品質一定更好。糊精會影響酒體、泡沫支撐與口感厚度；若過度追求完全分解，可能使啤酒顯得稀薄或酒精感突出。因此，pullulanase 更適合被視為「發酵度調整工具」，其用量、使用時點與搭配酵素應依目標風格、原料組成與酒廠既有糖化制度調整，而非作為所有配方的固定添加項 [2]。

作用機制：Pullulanase 如何提升澱粉轉化？

Pullulanase 主要水解支鏈多醣中的 α -1,6 糖苷鍵。以支鏈澱粉為例， α -amylase 可先把長鏈切成較短糊精，但在分支點附近仍會留下難以被 β -amylase 連續切割的結構；pullulanase 去除分支後，這些短鏈更接近線性分子，其他澱粉酶便能沿著非還原端或鏈內位置繼續作用。澱粉酵素改質綜述指出，酵素法相較於單純物理或化學改質，具有選擇性高、反應條件相對溫和、可針對特定鍵結改變澱粉結構等特徵 [1]。

這個機制在啤酒糖化中可分成三個層次。第一是「結構層次」：支鏈被打開後，澱粉分子可及性提高。第二是「糖組成層次」：原本停留在極限糊精中的葡萄糖單元，有機會轉化為麥芽糖、麥芽三糖或葡萄糖。第三是「製程層次」：當副原料澱粉比例較高、麥芽酵素不足或追求較高發酵度時，去分支反應可讓整體糖化路徑更接近目標 [4]。

不同澱粉來源對 pullulanase 的反應不會完全相同。甜薯、米、玉米、芋頭與香蕉等澱粉研究都顯示，酵素處理後的顆粒型態、結晶度、糊化行為、黏度與消化特性會因植物來源、前處理與加工條件而異；例如米澱粉經預熱與 pullulanase 處理後，結構與消化性質會出現可測變化，說明熱處理與去分支反應之間存在交互影響 [4]。

因此，在釀造上談 pullulanase，不能只談「酵素有沒有作用」，還要看澱粉是否已經糊化、顆粒是否開放、糖化段溫度是否落在酵素仍可表現的區間、pH 是否適合，以及是否有足夠的其他澱粉酶把去分支後的鏈段繼續轉化。這也是為什麼 pullulanase 通常被納入完整糖化策略，而不是被孤立成單一魔法添加物 [3]。

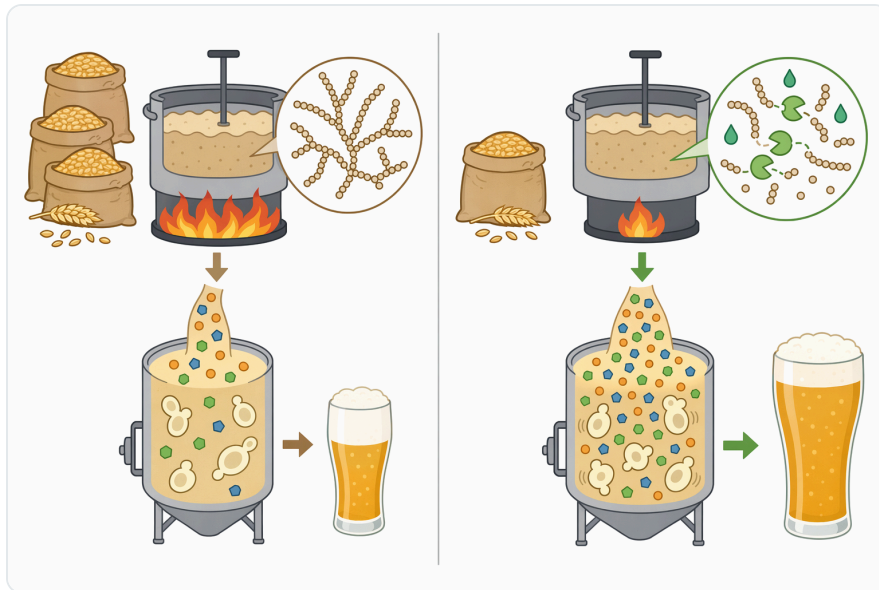


Figure 2. 釀造用澱粉轉化酶彼此互補： α -澱粉酶使澱粉鏈液化， β -澱粉酶和葡萄糖澱粉酶釋放糖分，而普魯蘭酶則去除分支點。

Pullulanase 與其他釀造澱粉酶的分工比較

下表以啤酒糖化中的功能角色來比較常見澱粉酶。實際製程中，這些酵素可能來自麥芽本身、外加酵素製劑，或兩者共同作用；不同配方的效果會受原料、糖化制度與目標風格影響 [2]。

酵素類型	主要作用鍵結或位置	在啤酒糖化中的角色	對 pullulanase 的關聯	常見應用重點
α -amylase	主要切割澱粉鏈內部 α -1,4 鍵	快速液化澱粉、降低黏度、產生糊精	可先打開長鏈，增加後續去分支與糖化機會	高澱粉原料、降低醪液黏度、建立糖化基礎
β -amylase	從非還原端釋放麥芽糖	增加麥芽糖比例，支援酵母發酵	分支點會限制其連續作用；去分支後可增加可作用鏈段	傳統麥芽糖化、控制可發酵性
Amyloglucosidase	由鏈端釋放葡萄糖，可處理部分糊精	提高葡萄糖與整體發酵度	去分支可讓更多鏈段暴露，有利於更深度糖化	低碳水、高發酵度、乾爽風格
Pullulanase	主要切割 α -1,6 分支鍵	去除支鏈障礙，降低極限糊精阻力	本身是輔助去分支核心，需與其他澱粉酶協同	副原料釀造、高發酵度、成本有效糖化

這個分工說明了 pullulanase 的定位：它不是典型液化酵素，也不是主要產生麥芽糖的酵素，而是改善澱粉結構可及性的去分支酵素。當配方中支鏈澱粉比例高、未發芽穀物比例高，或目標是降低殘留糊精時，它的製程價值會比一般全麥芽、酒體厚重、低發酵度目標的配方更明顯 [1]。

成本有效啤酒釀造中的應用情境

使用米、玉米、高粱等澱粉副原料

米、玉米與高粱常被用於調整成本、降低麥芽依賴、創造較清爽的酒體，或開發無麩質及區域特色產品。但這些原料常缺乏足夠內源酵素，且糊化條件不同於大麥麥芽。未發芽穀物搭配酵素製劑的研究指出，這類策略可改善原料轉化與麥汁製備可行性，但必須理解各原料的技術限制，不能只用配方比例來判斷結果 [3]。

Pullulanase 在此情境下的作用，是協助支鏈澱粉去分支，使外加或麥芽來源的澱粉酶更容易完成糖化。若副原料已適當糊化，且糖化環境允許酵素作用，pullulanase 可降低支鏈殘留造成的可發酵糖不足風險；相反地，若澱粉顆粒仍未充分開放，即使加入去分支酵素，也可能受限於基質可及性 [6]。

未發芽穀物與替代穀物啤酒

未發芽穀物通常成本較低、供應彈性高，也可呈現不同的地方性風味，但其釀造挑戰包括酵素活性不足、麥汁過濾性變差、可發酵糖不足與營養組成改變。研究指出，酵素製劑可協助未發芽穀物在啤酒製程中的應用，尤其是在澱粉分解、細胞壁分解與蛋白質調整等不同技術面向上 [3]。

在蕎麥啤酒或其他替代穀物啤酒中，pullulanase 可支援澱粉轉化，但不會解決所有問題。例如蛋白質組成、黏度、過濾性與酵母營養仍可能需要其他製程管理。使用 malted 與 unmalted buckwheat 的釀造研究顯示，替代穀物能形成具特色的產品，但其釀造性能與感官結果需透過整體配方與製程設計達成 [5]。



Figure 3. 普魯蘭酶最適用於高發酵度啤酒、添加輔料的糖化醪、高濃度釀造，以及其他因支鏈糊精限制可發酵性的穀物發酵。

低碳水、高發酵度與乾爽型啤酒

在低碳水或高發酵度啤酒中，釀造端常希望把更多澱粉降解為酵母能消耗的糖，並降低最終啤酒中的殘留糊精。Pullulanase 可減少支鏈糊精的障礙，讓糖化系統更容易往高可發酵性方向發展；這在 light beer、dry beer、部分清爽型拉格或追求較低殘糖的產品中尤其有意義 [2]。

然而，高發酵度也會改變口感平衡。若原本設計需要較高殘留糊精來支撐酒體，例如某些深色艾爾、甜感較明顯的特殊啤酒或高濃度產品，pullulanase 的使用就需要更謹慎。它的價值是提供可控的澱粉結構調整，而不是把所有啤酒都推向同一種乾爽風格 [1]。

無麩質與特殊飲食訴求產品

無麩質啤酒常使用米、玉米、高粱、蕎麥或其他非大麥來源原料，這些原料在澱粉轉化與感官結構上與傳統大麥麥芽不同。無麩質釀造技術比較研究指出，不同降麩質與無麩質策略在分析屬性、感官偏好與技術效果上存在差異，表示這類產品不能只用單一指標評估，而需兼顧製程、感官與品質穩定性 [7]。

Pullulanase 對無麩質或替代穀物產品的貢獻，主要是支援澱粉利用率與發酵糖生成。它不屬於麩質降解酵素，也不應被描述為能直接降低麩質；若產品目標涉及麩質管理，仍需依相關配方、原料與合規要求處理。Pullulanase 在此情境中應定位為澱粉糖化工具，而非過敏原或麩質聲稱工具 [7]。

對啤酒品質的可能影響

Pullulanase 對啤酒品質的影響，通常透過麥汁糖組成間接發生。當去分支作用提高可發酵糖比例時，酵母可利用的碳源增加，最終可能表現為較高表觀發酵度、較低殘糖、較乾爽尾韻與較輕盈酒體。混合培養啤酒發酵建模研究也顯示，發酵動態會受糖源消耗、微生物族群與時間序列變化影響，麥汁組成本身是後續發酵表現的重要基礎 [8]。

對商業啤酒廠而言，另一個重要影響是批次一致性。不同批次麥芽的酵素力、不同副原料的澱粉結構與不同糊化條件，都會造成糖化表現差異。Pullulanase 可在支鏈澱粉轉化這個環節增加可控性，使糖化系統不完全依賴原料自身條件；但最終一致性仍必須與研磨、加水比、糖化制度、煮沸、酵母健康與發酵控制共同管理 [2]。

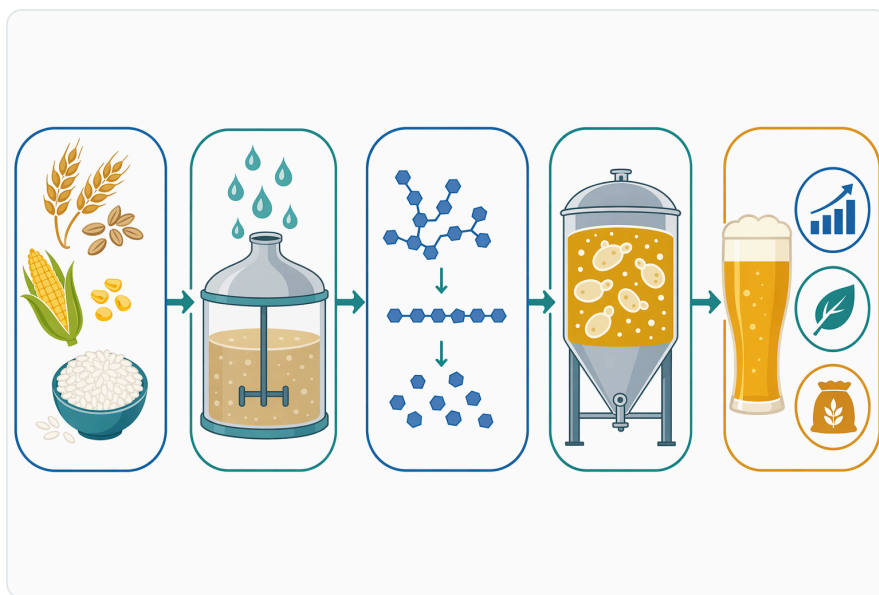


Figure 4. 普魯蘭酶的經濟價值來自於提升澱粉利用率、麥汁可發酵性、輔料使用彈性，以及發酵度的可預測性。

泡沫、濁度與口感也可能間接受到影響。若過度降低糊精，酒體可能變薄；若副原料比例高但蛋白質與多醣管理不足，過濾或濁度仍可能出現問題。因此，pullulanase 應被納入配方工程思維：它解決的是支鏈澱粉與極限糊精問題，不是完整取代蛋白酶、 β -葡聚醣酶、木聚醣酶或其他釀造用酵素的功能 [3]。

成本效益：合理期待與邊界

「Cost Effective Beer Brewing」應理解為製程與配方層面的成本有效，而不是單一酵素保證固定節省金額。成本效益可能來自幾個方向：提高副原料使用彈性、降低未轉化澱粉造成的萃取損失、支援高發酵度產品、減少因糖化不足造成的返工風險，以及讓原料價格波動下的配方調整更有技術支撐。

關於精釀啤酒生產的生命週期與成本情境分析顯示，啤酒生產成本與環境權衡受原料、製程、能源、包裝與規模等多因素影響，不能用單一投入項目解釋全部結果 [9]。

因此，pullulanase 的經濟價值最適合從「澱粉利用效率」與「配方彈性」評估。若酒廠大量使用高澱粉副原料、追求較高發酵度，或過去曾遇到殘留澱粉與發酵度不足，pullulanase 的製程貢獻可能較明顯。若配方本身為高比例優質麥芽、目標酒體厚重且發酵度不需提高，其成本效益就可能較有限 [3]。

製程整合重點：使用位置與條件邏輯

Pullulanase 通常整合於糖化相關階段，前提是澱粉已經具備足夠可及性。對需要較高糊化溫度的副原料，常見做法是先透過適當熱處理、穀物煮煉或分段糖化讓澱粉顆粒開放，再讓去分支與其他澱粉酶作用。澱粉改質研究反覆顯示，熱處理、物理前處理與酵素處理之間會交互影響最終澱粉結構，因此前處理條件會決定 pullulanase 能接觸到多少有效基質 [4]。

在酵素搭配上，pullulanase 通常與 α -amylase、 β -amylase 或 amyloglucosidase 協同，而非孤立使用。 α -amylase 有助於液化與形成短鏈糊精；pullulanase 移除分支； β -amylase 與 amyloglucosidase 則進一步產生可發酵糖。這種分工讓澱粉由大分子、支鏈結構逐步轉成酵母可利用的糖，是高發酵度與副原料釀造常見的技術邏輯 [2]。

溫度與 pH 則應依酒廠既有糖化制度與產品資訊管理。不同酵素都有自身適用區間，且過高溫度可能造成失活，過低溫度則可能反應不足；pH 偏離也會影響催化效率與蛋白質穩定性。本文不列出具體活性單位、分析方法或單位定義，因為這些不適合以通用文章替代隨貨文件與產品頁資訊；實務上應把 pullulanase 放入既有糖化曲線中評估其對麥汁糖組成與目標風格的影響 [1]。

與永續與副產物流應用的關聯

成本有效釀造不只涉及原料價格，也與水、能源、廢水、麥糟與副產物流管理相關。啤酒產業廢水再利用與生物表面活性劑生產研究顯示，啤酒製程副產物與廢物流具有被升級利用的潛力，這反映產業正在從單純產品產量轉向更完整的資源效率思維 [10]。

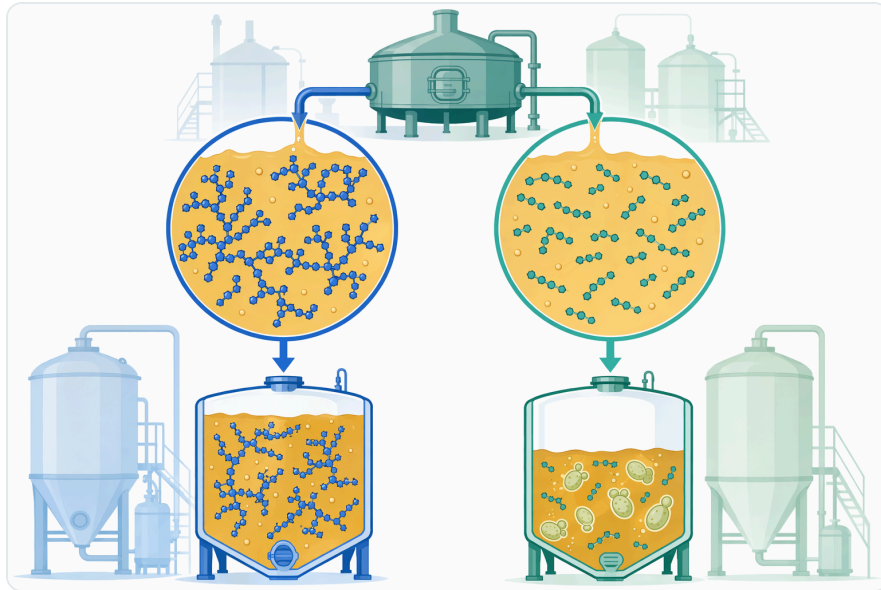


Figure 5. 普魯蘭酶是透過改變麥汁的碳水化合物組成，而非改變酵母代謝，來間接影響發酵。

Pullulanase 本身不是廢水處理酵素，也不是永續聲稱的單一依據；但若它能在特定配方中提高澱粉轉化、降低未利用碳水進入副產物流的比例，便可能間接支持較有效率的原料使用。這種效益仍需依酒廠物料衡算、發酵表現與整體製程資料判斷，不宜將其誇大為獨立的環境解決方案 [9]。

供應與文件資訊

Enzymes.bio 是酵素供應商，不是製造商，也不是第三方實驗室。Pullulanase Enzyme For Cost Effective Beer Brewing 以 1 kg 單位在線上直接銷售；完成線上訂購後，產品依訂單流程處理，CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，供收貨後進行內部紀錄、安全管理與文件歸檔。

酵素作為蛋白質材料，在工業與食品加工環境中應依 SDS 進行一般安全操作，包括避免粉塵或氣溶膠吸入、避免不必要的皮膚與眼睛接觸、維持容器密封與防止交叉污染。這些安全管理屬於酵素產品的通用操作原則，與 pullulanase 的釀造功能並不衝突；實際使用仍應由酒廠依自身食品安全、職安與合規制度管理。

結論：Pullulanase 在啤酒糖化中的實務價值

Pullulanase Enzyme For Cost Effective Beer Brewing 的核心價值，是在啤酒糖化中去除支鏈澱粉與極限糊精的分支障礙，讓其他澱粉酶更有效地生成可發酵糖。它特別適合用於含米、玉米、高粱、蕎麥、未發芽穀物或其他澱粉副原料的配方，也適合支援高發酵度、乾爽型與低殘糖產品開發；相關釀造研究已指出，未發芽穀物搭配酵素製劑是提升替代原料應用可行性的關鍵方向之一 [3]。

對商業酒廠而言，pullulanase 應被視為糖化系統中的精準輔助工具，而非單一成本節省保證。當它與適當糊化、合理糖化曲線、其他澱粉酶、酵母管理與目標風格設計整合時，可提升澱粉利用、發酵度控制與副原料配方彈性；這種可控性，正是其在成本有效啤酒釀造中的主要技術意義 [2]。

線上訂購 Pullulanase Enzyme For Cost Effective Beer Brewing

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 For Cost Effective Beer Brewing →](#)

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. Choton, S., Bandral, J., Singh, J., Bhat, A., Sood, M., Gupta, N., Reshi, M., ... et al. (2024). Enzymatic Modification of Starch: A Review. *Saudi Journal of Medical and Pharmaceutical Sciences*.
2. Laus, A., Endres, F., Hutzler, M., Zarnkow, M., & Jacob, F. (2022). Isothermal Mashing of Barley Malt: New Insights into Wort Composition and Enzyme Temperature Ranges. *Food and Bioprocess Technology*, 15, 2294 - 2312.
3. Loiko, S., Romanova, Z., Zheplinska, M., Romanov, M., & Vasylyiv, V. (2024). Use of unmalted cereals with enzyme preparations in brewing. *Animal Science and Food Technology*.
4. Geng, D., Zhang, X., Zhu, C., Wang, C., Cheng, Y., & Tang, N. (2023). Structural, physicochemical and digestive properties of rice starch modified by preheating and pullulanase treatments. *Carbohydrate Polymers*, 313, 120866 .
5. Ciocan, M., Salamon, R., Ambrus, Á., Codină, G., Chetrariu, A., & Dabija, A. (2023). Use of Unmalted and Malted Buckwheat in Brewing. *Applied Sciences*.
6. Ge, X., Shen, H., Su, C., Zhang, B., Zhang, Q., Jiang, H., Yuan, L., ... et al. (2021). Pullulanase modification of granular sweet potato starch: Assistant effect of dielectric barrier discharge plasma on multi-scale structure, physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 272, 118481 .
7. Cela, N., Condelli, N., Perretti, G., Cairano, M. D., Clippeleer, J. D., Galgano, F., & Rouck, G. D. (2023). A Comprehensive Comparison of Gluten-Free Brewing Techniques: Differences in Gluten Reduction Ability, Analytical Attributes, and Hedonic Perception. *Beverages*.
8. O' Brien, A., Zhang, H., Allwood, D. M., & Rawsthorne, A. (2024). From Data to Draught: Modelling and Predicting Mixed-Culture Beer Fermentation Dynamics Using Autoregressive Recurrent Neural Networks. *Modelling*.

9. Ooyama, S., Seo, Y., & Maesako, K. (2025). Assessing Sustainability Trade-Offs in Craft Beer Production Through Life Cycle and Costing Analysis Scenarios. *Sustainability*.
10. Sant'Ana, T., Latorres, J. M., & Martins, V. G. (2024). Upcycling of Beer Industry Wastewater: Biosurfactant Production and Application in Brewery Effluent Treatment. *Environmental Quality Management*.

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。