

Pullulanase Enzyme Liquid per idrolisi dell'amido: applicazioni in sciroppi di glucosio, sciroppi di maltosio e saccarificazione industriale

Team di ricerca Enzymes.bio · Wellington, Nuova Zelanda · June 20, 2026

La **pullulanasi liquida** è un enzima debranching usato nei processi di idrolisi dell'amido per rompere i legami di ramificazione dell'amilopectina e delle destrine limite, migliorando l'accessibilità del substrato agli enzimi saccarificanti. Nella produzione di sciroppi di glucosio e maltosio, il suo valore tecnico è maggiore quando viene integrata con alfa-amilasi, glucoamilasi, beta-amilasi o enzimi maltogenici, perché riduce le strutture ramificate che ostacolano la conversione completa dell'amido ^[1].

Che cos'è la pullulanasi liquida per idrolisi dell'amido

La pullulanasi è un enzima amilolitico specializzato nell'idrolisi dei legami glicosidici α -1,6 presenti nei punti di ramificazione dell'amilopectina e di substrati correlati come il pullulano. A differenza di enzimi che tagliano prevalentemente legami α -1,4 lungo le catene lineari, la pullulanasi agisce sui "nodi" ramificati che rimangono dopo la liquefazione o durante la saccarificazione, contribuendo a trasformare destrine ramificate in catene più lineari e quindi più facilmente convertibili in glucosio, maltosio o altri maltooligosaccaridi ^[1].

Nel contesto industriale, il prodotto **Pullulanase Enzyme Liquid for Starch Hydrolysis in Glucose and Maltose Syrup Production** fornito da Enzymes.bio è posizionato per applicazioni B2B nella trasformazione dell'amido e nella produzione di sciroppi zuccherini. Enzymes.bio opera come fornitore online di enzimi, non come produttore né come laboratorio; il prodotto è venduto direttamente online in unità da **1 kg**, con CoA e SDS forniti insieme all'ordine .

Il punto tecnico essenziale è che la pullulanasi non sostituisce l'intero sistema enzimatico di conversione dell'amido. In una linea per sciroppo di glucosio o maltosio, il suo ruolo è complementare: riduce la ramificazione residua e rende più efficiente l'azione degli enzimi che liberano zuccheri dalle

catene glucidiche. La letteratura recente descrive la pullulanasi come un biocatalizzatore rilevante per l'idrolisi dell'amido e per l'industria alimentare, proprio perché interviene su una porzione strutturale del substrato che altri enzimi non rimuovono con la stessa specificità [2].

Perché le ramificazioni dell'amido limitano la produzione di sciroppi

L'amido industriale è costituito principalmente da amilosio e amilopectina. L'amilosio è prevalentemente lineare, mentre l'amilopectina contiene numerosi punti di ramificazione. Durante la liquefazione, l'alfa-amilasi riduce la viscosità tagliando legami interni della matrice amidacea, ma non elimina completamente le ramificazioni. Queste strutture residue danno origine a destrine limite che possono rallentare la saccharificazione e ridurre la quota di zuccheri target nello sciroppo finale [3].

Per uno sciroppo ad alto glucosio, le destrine ramificate sono problematiche perché limitano l'accesso della glucoamilasi alle catene e alle estremità disponibili. Per uno sciroppo ad alto maltosio, la ramificazione ostacola la formazione ordinata di unità maltosio da segmenti lineari. In entrambi i casi, l'azione debranching della pullulanasi aumenta la porzione di catene glucidiche lineari e riduce il residuo destrinico resistente, favorendo un profilo zuccherino più coerente con l'obiettivo del processo [4].

Questa logica non riguarda solo lo sciroppo di mais o di riso, ma anche altre matrici amidacee. Studi recenti su amidi di mais, sorgo, patata dolce, avena e riso mostrano che l'idrolisi con pullulanasi modifica la struttura multi-livello dell'amido, influenzando accessibilità enzimatica, retrogradazione, digeribilità e proprietà funzionali del prodotto finale [2].

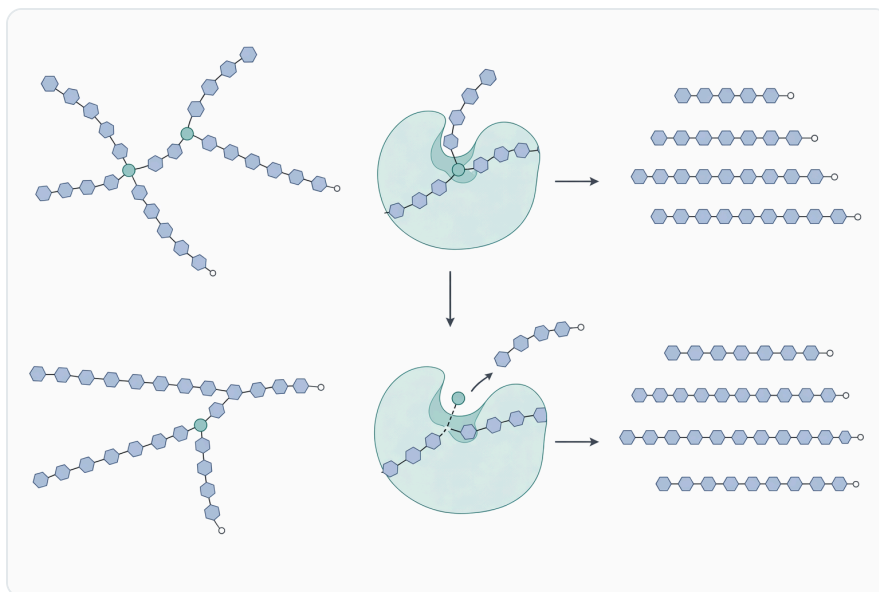


Figure 1. 풀루라나아제는 아밀로펙틴 유래 덱스트린의 α -1,6 가지 결합을 절단하여, 이후 가수분해에 더 적합한 선형 글루칸 사슬을 더 많이 생성한다.

Meccanismo d'azione: cosa fa davvero la pullulanasi

Idrolisi dei legami α -1,6

La pullulanasi è definita enzima debranching perché scinde i legami α -1,6 nei punti di ramificazione. Quando questi legami vengono rimossi, le molecole ramificate diventano più lineari. Questo non equivale automaticamente a produrre glucosio o maltosio in modo diretto e completo: significa piuttosto preparare il substrato affinché altri enzimi possano proseguire l'idrolisi in modo più efficace [1].

Nel caso dell'amilopectina, la struttura ramificata forma regioni compatte che possono limitare la penetrazione enzimatica. La pullulanasi riduce questa barriera agendo sui punti di ramificazione e facilitando la successiva degradazione delle catene lineari. Questo meccanismo è coerente con studi sull'effetto della pullulanasi sull'amido di amilopectina di mais, in cui l'enzima viene valutato proprio come biocatalizzatore per l'idrolisi dell'amido [2].

Aumento dell'accessibilità enzimatica

L'accessibilità del substrato è uno dei parametri più importanti nella conversione dell'amido. Anche se la composizione chimica resta basata su unità di glucosio, la disposizione fisica delle catene, la cristallinità, la gelatinizzazione, la retrogradazione e la presenza di complessi possono cambiare drasticamente la velocità e l'estensione dell'idrolisi. Ricerche su modelli di idrolisi e su modificazioni dell'amido indicano che struttura granulare, porosità, cristallinità e accessibilità enzimatica sono strettamente collegate [5].

Alcune pullulanasi includono moduli di legame ai carboidrati, noti come carbohydrate binding modules, che possono contribuire all'interazione con l'amido e alla riorganizzazione del substrato. Uno studio del 2024 ha esaminato proprio l'effetto del modulo di legame ai carboidrati di una pullulanasi di tipo I sulla riorganizzazione dell'amido grezzo, collegandolo al miglioramento dell'attività di idrolisi [6].

Sinergia con altri enzimi amilolitici

La pullulanasi lavora spesso in combinazione con alfa-amilasi, glucoamilasi, beta-amilasi o enzimi maltogenici. L'alfa-amilasi frammenta rapidamente l'amido in destrine più corte; la glucoamilasi rilascia glucosio dalle estremità non riducenti; la beta-amilasi favorisce la formazione di maltosio; gli enzimi maltogenici modulano ulteriormente il profilo dei maltooligosaccaridi. La pullulanasi interviene su un asse diverso: elimina le ramificazioni che impediscono a questi enzimi di lavorare su catene più regolari [7].

Questa sinergia spiega perché la pullulanasi è particolarmente utile nella produzione di sciroppi di glucosio e maltosio, ma non va interpretata come un enzima universale che da solo determina il profilo finale. Il risultato dipende dal substrato, dal grado di liquefazione, dalla combinazione enzimatica, dal tempo di reazione, dalla temperatura, dal pH e dal tipo di sciroppo desiderato [1].

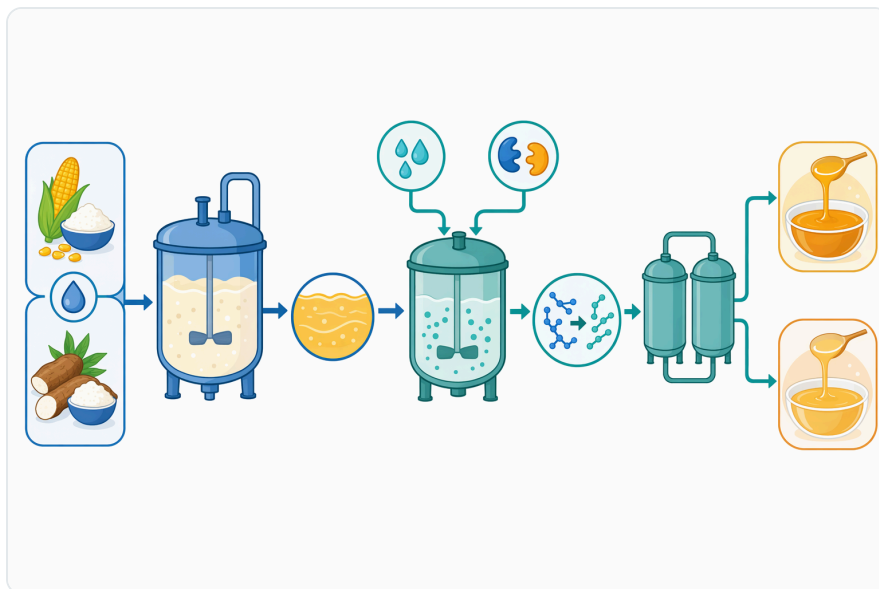


Figure 2. 전분 시럽 공정에서 풀루라나아제는 일반적으로 호화와 액화 이후 단계에 투입되며, 이때 용해된 가지형 덱스트린이 가지 제거와 당화에 이용될 수 있다.

Ruolo della pullulanasi negli sciroppi di glucosio e maltosio

Sciroppi di glucosio

Negli sciroppi di glucosio, l'obiettivo è spingere la saccarificazione verso zuccheri semplici, riducendo il più possibile la frazione di destrine non convertite. Dopo liquefazione, le destrine ramificate possono limitare l'avanzamento della glucoamilasi. La pullulanasi riduce questa limitazione aprendo i punti α -1,6 e creando catene più accessibili alla liberazione di glucosio [4].

Lo stesso principio vale per substrati amidacei differenti. Studi sull'idrolisi dell'amido di avena con amiloglicosidasi e pullulanasi evidenziano l'interesse della combinazione di enzimi saccarificanti e debranching per modificare il comportamento dell'amido durante l'idrolisi. Anche se ogni materia prima ha una risposta specifica, la logica di processo resta costante: meno ramificazioni residue significa maggiore possibilità di conversione enzimatica [4].

Sciroppi di maltosio

Negli sciroppi di maltosio, l'obiettivo non è massimizzare semplicemente il glucosio, ma ottenere una quota elevata di maltosio e un profilo controllato di altri saccaridi. La pullulanasi contribuisce indirettamente a questo risultato perché debranca le destrine e rende disponibili segmenti lineari più adatti all'azione della beta-amilasi o di enzimi maltogenici. La qualità del profilo zuccherino dipende quindi dalla coordinazione tra debranching e idrolisi delle catene lineari ^[1].

La produzione di maltosio è sensibile alla struttura del substrato. Se le catene sono troppo ramificate, l'azione maltogenica si arresta più facilmente; se sono più lineari, il rilascio di maltosio può procedere con meno ostacoli. La pullulanasi non "produce maltosio" in senso isolato, ma prepara la struttura glucidica affinché gli enzimi orientati al maltosio lavorino su un substrato più favorevole ^[7].

Confronto funzionale tra pullulanasi e altri enzimi per l'amido

Enzima	Punto d'azione principale	Effetto tecnologico	Ruolo nella produzione di sciroppi
Alfa-amilasi	Legami α -1,4 interni	Liquefazione, riduzione della viscosità, formazione di destrine	Prima fase di conversione dell'amido gelatinizzato
Glucoamilasi	Estremità non riducenti, soprattutto legami α -1,4	Rilascio progressivo di glucosio	Produzione di sciroppi ricchi in glucosio
Beta-amilasi	Estremità non riducenti delle catene lineari	Rilascio di maltosio	Produzione di sciroppi ricchi in maltosio
Enzimi maltogenici	Catene glucidiche parzialmente idrolizzate	Modulazione di maltosio e maltooligosaccaridi	Controllo del profilo zuccherino
Pullulanasi	Legami α -1,6 nei punti di ramificazione	Debranching, riduzione delle destrine limite, aumento dell'accessibilità	Supporto alla saccarificazione per sciroppi di glucosio e maltosio

Questa distinzione è importante perché evita una semplificazione frequente: considerare tutti gli enzimi amilolitici equivalenti. In realtà, ogni enzima interviene su una porzione diversa della struttura amidacea. La pullulanasi è preziosa proprio perché agisce dove gli enzimi lineari sono meno efficienti, cioè sui punti di ramificazione dell'amilopectina e delle destrine limite ^[1].

Evidenze scientifiche recenti sull'uso della pullulanasi

La letteratura degli ultimi anni conferma che la pullulanasi è studiata non solo per la produzione di sciroppi, ma anche per la modifica funzionale degli amidi. Uno studio del 2022 ha analizzato l'effetto della pullulanasi sull'amido di amilopectina di mais, inquadrando l'enzima come biocatalizzatore per l'idrolisi dell'amido. Questo è direttamente pertinente ai processi industriali perché l'amilopectina è la principale fonte di ramificazioni nei substrati amidacei [2].

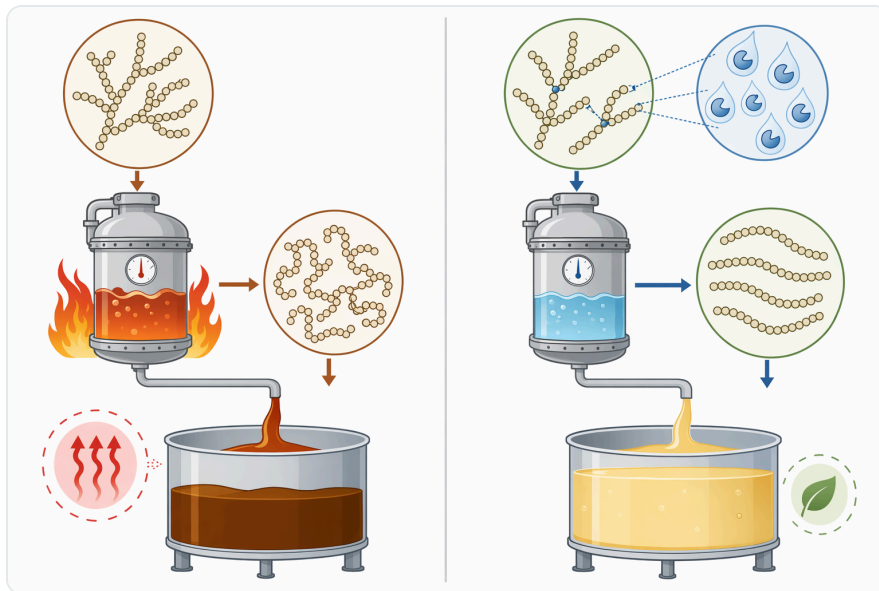


Figure 3. α -아밀라아제, 풀루라나아제, 글루코아밀라아제, 말토스 생성 효소는 전분의 서로 다른 구조적 특징에 작용하므로 시럽 생산에서 상호 보완적인 역할을 한다.

Nel 2023, la combinazione tra idrolisi con pullulanasi e trattamento a infrarossi è stata studiata per modificare l'amido di sorgo. Questo tipo di ricerca è utile perché mostra che l'azione debranching non è isolata dal contesto fisico del substrato: trattamenti termici, radiazione infrarossa, idratazione e storia di processo possono influenzare la struttura e quindi la risposta all'idrolisi enzimatica [8].

Nel 2024, diversi lavori hanno collegato la pullulanasi alla produzione di amidi resistenti o lentamente digeribili. Studi su farina di riso per RS3 e su amido di patata dolce per slowly digestible starch indicano che l'idrolisi con pullulanasi può favorire la riorganizzazione delle catene lineari e influenzare la digeribilità finale. Anche se queste applicazioni non sono sciroppi, confermano il ruolo strutturale dell'enzima nel rimodellare l'amido [9].

Altri studi hanno esplorato pullulanasi adatte all'idrolisi a freddo dell'amido, individuate e progettate con supporto bioinformatico. Questo filone è rilevante perché l'idrolisi dell'amido grezzo o a temperature più basse è una direzione tecnologica interessante per ridurre intensità di trattamento e

consumo energetico, pur richiedendo enzimi con caratteristiche specifiche e compatibili con la matrice [10].

La ricerca su amidi complessati, nanoparticelle e strutture V-type mostra inoltre che la pullulanasi può modificare porosità, adsorbimento e accessibilità del materiale amidaceo. Uno studio del 2025 ha esaminato la produzione di amido poroso V-type mediante idrolisi catalizzata da pullulanasi, collegando l'azione enzimatica alla formazione di strutture con particelle nanosferiche associate [11].

Applicazioni oltre gli sciroppi: perché sono rilevanti anche per il B2B amidiero

Sebbene l'applicazione principale qui sia la produzione di sciroppi di glucosio e maltosio, le ricerche su alimenti amidacei dimostrano l'ampiezza del ruolo della pullulanasi. Nel caso dei vermicelli di ghianda, l'idrolisi enzimatica con pullulanasi è stata studiata per comprenderne l'effetto sulla texture e sui meccanismi di qualità. Questo conferma che il debranching non incide solo sulla resa zuccherina, ma anche sulla struttura fisica di prodotti amidacei trasformati [12].

L'idrolisi con pullulanasi è stata inoltre utilizzata in strategie per generare amido resistente di tipo RS3 da ingredienti a base di farina di riso. In questi processi, il debranching produce catene più lineari che, dopo trattamento idrotermico e raffreddamento, possono riorganizzarsi in strutture meno digeribili. Anche se l'obiettivo è diverso dallo sciroppo, il meccanismo iniziale — rimozione delle ramificazioni — è lo stesso [9].

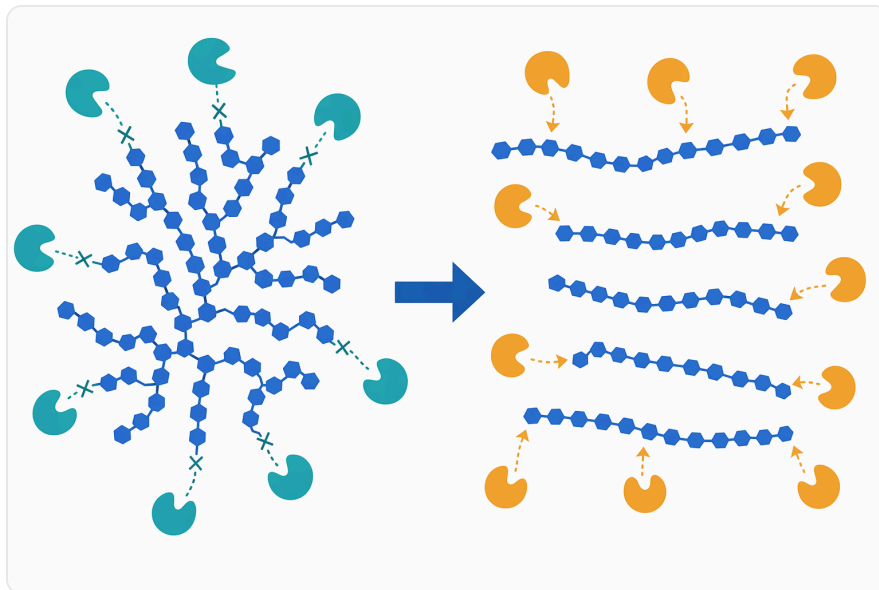


Figure 4. 가지 제거는 가지 구조로 인한 장벽을 없애고 접근 가능한 선형 사슬 영역을 늘려 덱스트린 풀의 구조를 변화시킨다.

Nel settore della carta, enzimi con diversi siti e modalità d'azione sono stati studiati per modificare l'amido impiegato nel surface sizing. Questo conferma la rilevanza industriale della modifica enzimatica dell'amido oltre il food processing: controllare lunghezza delle catene, ramificazione e viscosità è utile in più filiere, purché l'enzima sia selezionato in funzione del risultato desiderato ^[3].

Variabili di processo che influenzano il risultato

Tipo di amido e struttura della materia prima

Mais, riso, sorgo, avena, patata dolce e altre fonti amidacee hanno rapporti diversi tra amilosio e amilopectina, differenti livelli di cristallinità e granuli con architetture specifiche. Queste differenze modificano l'accesso dell'enzima e la velocità con cui le ramificazioni vengono rimosse. Per questo motivo, uno stesso approccio di debranching può produrre risultati diversi su materie prime differenti ^[8].

Gli studi sul sorgo e sulla patata dolce indicano che la risposta dell'amido alla pullulanasi dipende dalla struttura nativa e dai trattamenti precedenti. In particolare, il debranching può favorire sia una maggiore idrolisi sia una successiva riorganizzazione delle catene, a seconda che il processo sia orientato a zuccheri fermentescibili, sciroppi, amidi lentamente digeribili o amidi resistenti ^[13].

Stato fisico del substrato

La pullulanasi lavora meglio quando il substrato è accessibile. In un processo di sciroppo, questo avviene tipicamente dopo gelatinizzazione e liquefazione, quando la struttura granulare è stata aperta e trasformata in destrine solubili o parzialmente solubilizzate. Se l'amido rimane troppo compatto, cristallino o complessato, il debranching può essere limitato dalla diffusione dell'enzima e dalla disponibilità dei legami α -1,6 ^[5].

La ricerca su idrolisi a freddo e amido grezzo evidenzia proprio questa difficoltà: non basta che l'enzima riconosca il legame corretto, deve anche raggiungerlo fisicamente. Per questo gli studi più recenti cercano pullulanasi con proprietà migliorate di legame al substrato o con moduli specifici che aumentino l'interazione con l'amido non completamente gelatinizzato ^[10].

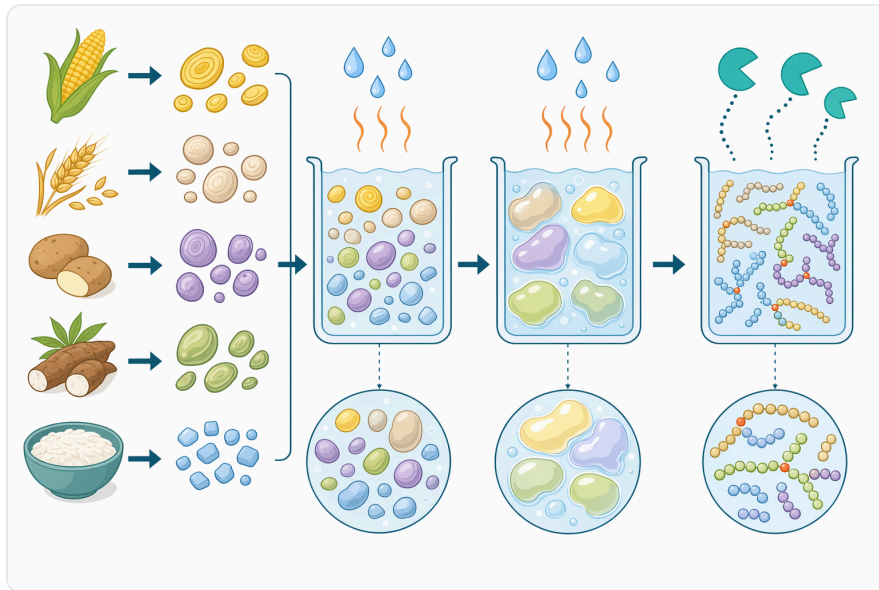


Figure 5. 식물 유래 전분의 구조와 전처리 방식은 α -1,6 가지 결합이 풀루라나 아제에 얼마나 잘 접근되는지에 영향을 미친다.

Interazione con altri componenti

La presenza di polifenoli, lipidi, proteine o altri ingredienti può influenzare l'idrolisi enzimatica dell'amido. Studi recenti su acido clorogenico e idrolisi dell'amido mostrano che alcuni composti possono inibire o modulare l'accesso degli enzimi al substrato, con effetti dipendenti dal metodo di lavorazione [14].

Analogamente, complessi tra amido e molecole bioattive, come quelli studiati nel caso di nanoparticelle di amido di sorgo e resveratrolo, possono alterare digestione, accessibilità e comportamento strutturale. Per la produzione di sciroppi, questo significa che la pulizia della matrice, il pretrattamento e la composizione della sospensione amidacea possono incidere sul rendimento della saccharificazione [15].

Uso industriale responsabile nella produzione di sciroppi

In una linea per sciroppo di glucosio o maltosio, la pullulanasi è normalmente considerata parte della fase di saccharificazione o di una fase di debranching integrata dopo liquefazione. Il substrato deve essere sufficientemente destrinizzato e mantenuto in condizioni compatibili con l'enzima e con gli altri componenti del sistema. La sequenza più razionale è: apertura dell'amido, riduzione della viscosità, debranching e conversione mirata in zuccheri [1].

Per lo sciroppo di glucosio, la pullulanasi favorisce la riduzione delle destrine limite che impediscono alla glucoamilasi di completare la conversione. Per lo sciroppo di maltosio, l'enzima rende disponibili segmenti lineari più adatti al rilascio controllato di maltosio. In entrambi i casi, il risultato dipende dalla compatibilità tra pullulanasi e altri enzimi amilolitici, non dalla sola presenza dell'enzima debranching [4].

Dal punto di vista pratico, l'utilizzatore deve considerare la pullulanasi come un modulatore della struttura del substrato. Il suo effetto si osserva nella riduzione delle ramificazioni, nella modifica della distribuzione delle destrine e nella maggiore accessibilità delle catene. La valutazione del risultato avviene sul profilo zuccherino e sulle caratteristiche operative dello sciroppo, evitando di attribuire all'enzima un effetto indipendente dal resto del processo [7].

Integrazione con processi fermentativi

Gli sciroppi di glucosio e maltosio sono spesso intermedi per fermentazioni alimentari o industriali. In questi casi, la pullulanasi può contribuire indirettamente alla fermentescibilità aumentando la disponibilità di zuccheri utilizzabili dai microrganismi. Un mosto o idrolizzato con meno destrine ramificate residue tende a essere più adatto a processi in cui lieviti o batteri richiedono zuccheri semplici o disaccaridi facilmente metabolizzabili [1].

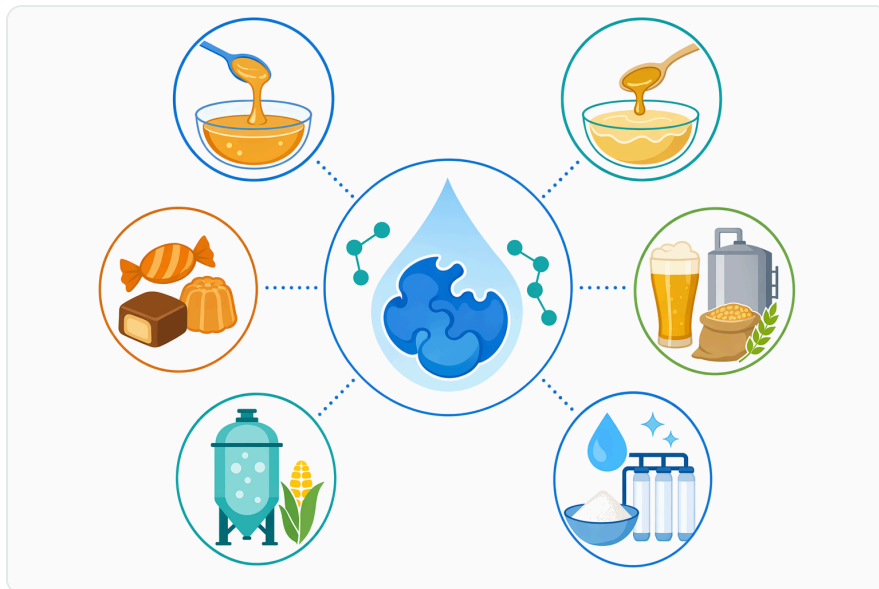


Figure 6. 동일한 풀루라나아제의 가지 제거 작용도 함께 사용되는 효소 시스템에 따라 포도당 시럽, 맥아당 시럽 또는 발효 가능한 당류 흐름의 생산을 지원할 수 있다.

Questo principio è coerente con l'uso generale degli enzimi microbici nell'industria alimentare, dove amilasi, glucoamilasi e altri biocatalizzatori sono impiegati per trasformare polisaccaridi complessi in substrati più semplici. La pullulanasi aggiunge un livello di specificità perché interviene sui legami di ramificazione, migliorando la conversione quando la struttura dell'amido è il fattore limitante ^[7].

Caratteristiche commerciali del prodotto Enzymes.bio

Enzymes.bio fornisce online una categoria dedicata alla pullulanasi per applicazioni industriali e alimentari. Per questo prodotto, il formato liquido è destinato a processi B2B di idrolisi dell'amido, in particolare nella produzione di sciroppi di glucosio e maltosio. Il prodotto è venduto direttamente online in unità da **1 kg**; la documentazione di accompagnamento, inclusi CoA e SDS, viene fornita insieme all'ordine .

È importante descrivere correttamente il ruolo di Enzymes.bio: si tratta di un fornitore B2B online, non di un produttore né di un laboratorio. L'articolo non attribuisce quindi a Enzymes.bio attività di produzione, sviluppo analitico o validazione di processo. L'utilità per l'acquirente sta nella disponibilità diretta del prodotto e nella documentazione fornita con l'ordine, all'interno di un uso industriale o food processing appropriato .

Benefici tecnici attesi

Il primo beneficio atteso è la riduzione delle destrine ramificate che limitano la saccarificazione. Questo può migliorare la conversione dell'amido in zuccheri target, soprattutto quando il processo utilizza anche glucoamilasi, beta-amilasi o enzimi maltogenici. Il vantaggio non è una "magia enzimatica", ma una conseguenza diretta della rimozione dei punti α -1,6 che ostacolano l'idrolisi delle catene ^[1].

Il secondo beneficio è il controllo più fine del profilo zuccherino. Nei processi orientati al glucosio, la pullulanasi sostiene una conversione più completa; nei processi orientati al maltosio, aumenta la disponibilità di catene lineari adatte alla produzione del disaccaride. Questa flessibilità rende la pullulanasi un componente tecnico utile nelle formulazioni enzimatiche per sciroppi ^[4].

Il terzo beneficio è la compatibilità concettuale con numerose filiere basate sull'amido. Le ricerche su amidi resistenti, slowly digestible starch, amidi porosi, surface sizing della carta e prodotti alimentari amidacei mostrano che il debranching è una leva tecnologica trasversale. Anche quando l'obiettivo non è la produzione di zuccheri, il meccanismo di base rimane la modifica selettiva della ramificazione dell'amido ^[11].

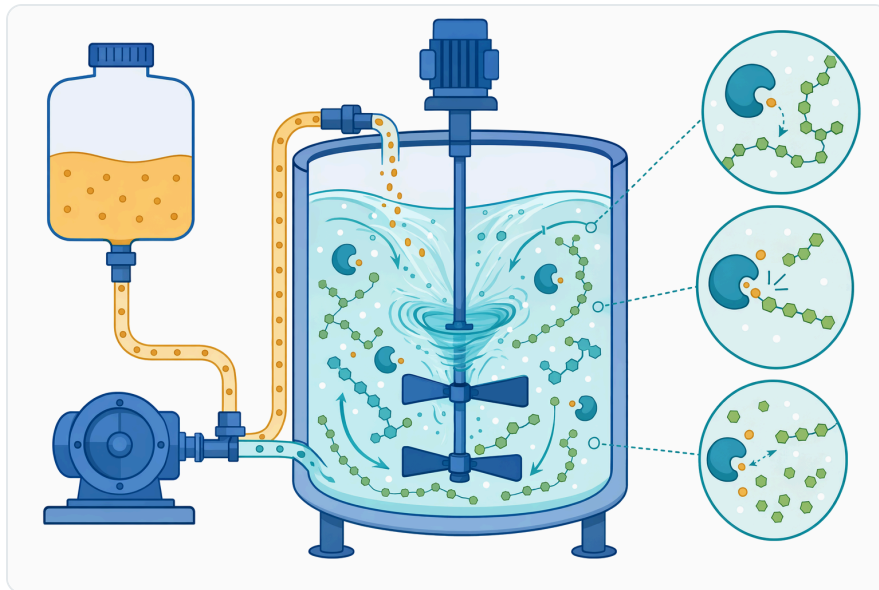


Figure 7. 액상 풀루라나아제 제형은 수계 전분 가수분해 공정 흐름에 정량 주입하고 분산시키는 데 적합하다.

Limiti e interpretazione corretta delle evidenze

Le evidenze scientifiche supportano il ruolo della pullulanasi come enzima debranching, ma non autorizzano a prevedere un risultato identico in ogni impianto. Le prestazioni dipendono da materia prima, pretrattamento, liquefazione, composizione del sistema enzimatico, condizioni operative e obiettivo del prodotto. Per questo motivo, la pullulanasi va considerata come parte di una strategia di processo, non come garanzia autonoma di uno specifico profilo zuccherino ^[8].

È altrettanto importante distinguere tra studi su amidi modificati e produzione industriale di sciroppi. Lavori su RS3, RS5, slowly digestible starch o prodotti alimentari testurizzati dimostrano il potere della pullulanasi nel rimodellare la struttura dell'amido, ma non equivalgono automaticamente a dati di resa per sciroppi di glucosio o maltosio. Sono comunque rilevanti perché spiegano come il debranching modifichi accessibilità e organizzazione delle catene glucidiche ^[16].

Conclusione

La **Pullulanase Enzyme Liquid per idrolisi dell'amido** è un enzima debranching utile nella produzione di sciroppi di glucosio e maltosio perché rimuove i legami α -1,6 delle destrine ramificate, aumentando l'accessibilità del substrato agli enzimi saccarificanti. Il suo impiego è più efficace quando viene integrato in un sistema enzimatico completo, insieme ad alfa-amilasi, glucoamilasi, beta-amilasi o enzimi maltogenici, in funzione del profilo zuccherino desiderato ^[1].

Le ricerche recenti confermano che la pullulanasi modifica la struttura dell'amido in molte matrici — mais, sorgo, riso, avena, patata dolce e sistemi amidacei complessi — influenzando idrolisi, digeribilità, texture, porosità e accessibilità enzimatica. Per la produzione di sciroppi, il messaggio tecnico è chiaro: meno ramificazioni residue significa maggiore possibilità di convertire destrine in glucosio o maltosio, ma il risultato finale dipende dall'intero processo ^[2].

Enzymes.bio fornisce questo enzima liquido come prodotto B2B disponibile online in unità da 1 kg, con CoA e SDS inclusi insieme all'ordine. Il prodotto va interpretato come uno strumento tecnico per processi industriali e food processing basati sull'amido, non come ingrediente retail né come soluzione isolata svincolata dalla formulazione enzimatica complessiva .

Ordina Pullulanase Enzyme Liquid For Starch Hydrolysis In Glucose And Maltose Syrup Production online

Venduto in unità da 1 kg, disponibile a magazzino e pronto per la spedizione. Ordina direttamente dal nostro store: paga online e noi elaboriamo il tuo ordine. Un Certificato di Analisi e una Scheda Dati di Sicurezza sono inclusi in ogni ordine.

[Acquista Pullulanase Enzyme Liquid For Starch Hydrolysis In Glucose And Maltose Syrup Production](#)
→

Riferimenti

Numerati in ordine di prima citazione. Fonti open access, ciascuna verificata come raggiungibile al momento della pubblicazione; i numeri di citazione nel testo rimandano qui.

1. Naik, B., Kumar, V., Goyal, S., Tripathi, A. D., Mishra, S., Saris, P. E. J., Kumar, A., ... et al. (2023). [Pullulanase: unleashing the power of enzyme with a promising future in the food industry](#). *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11.
2. Papakhin, A. A., & Borodina, Z. (2022). [Use of pullulanase as a biocatalyst for starch hydrolysis: Part 1. Study of the effect of pullulanase on maize amylopectin starch](#). *Food systems*.
3. Wang, T., Wang, F., Ma, R., & Tian, Y. (2022). [Enzymatically modified starch for paper surface sizing: Enzymes with different action modes and sites](#). *Carbohydrate Polymers*, 291, 119636 .
4. Ünlü, E. B., & Aykaç, Ç. (2022). [Hydrolysis of Oat Starch by Amyloglucosidase and Pullulanase](#). *Starke (Weinheim)*.
5. Zhang, B., Bai, Y., Li, X., Dong, J., Wang, Y., & Jin, Z. (2025). [Mechanism analysis for the differences in multi-level structure, enzyme accessibility and pasting properties of starch granules caused by different hydrolysis pathways of maltogenic \$\alpha\$ -amylase](#). *Food Chemistry*, 471, 142789 .
6. Kim, E., Kim, Y., Yang, S., Seo, Y., Seo, D., Lim, S., Kim, Y., ... et al. (2024). [Effects of carbohydrate binding module of pullulanase type I on the raw starch rearrangement by enhancing the hydrolysis activity](#). *Food Bioscience*.

7. Kumar, A., Dhiman, S., Krishan, B., Samtiya, M., Kumari, A., Pathak, N., Kumari, A., ... et al. (2024). Microbial enzymes and major applications in the food industry: a concise review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 6.
8. Semwal, J., & Meera, M. (2023). Modification of sorghum starch as a function of pullulanase hydrolysis and infrared treatment. *Food Chemistry*, 416, 135815 .
9. Pham, C., Pham, A. T., & Nguyen, D. (2024). Optimisation of some technological factors of pretreatment by pullulanase enzymatic hydrolysis combined with hydrothermal process to produce resistant starch (RS3) from rice flour ingredients. *Ministry of Science and Technology, Vietnam*.
10. Wang, X., Wang, Z., Zhang, X., Zhang, Y., Zhang, W., Zhang, Y., Zhang, X., ... et al. (2024). Bioinformatics-assisted mining and design of novel pullulanase suitable for starch cold hydrolysis. *Journal of Biotechnology*.
11. Zhou, X., Chen, Y., Fu, M., Sun, Z., Bereka, T. Y., Hussain, M., Chen, G., ... et al. (2025). Pullulanase-catalyzed hydrolysis of V-type starch produced high-adsorbency V-type porous starch attaching by nano-spherical particles. *Food Bioscience*.
12. Chen, P., Xie, Q., Wang, R., Wang, S., Cheng, J., & Zhang, B. (2022). Effects of pullulanase enzymatic hydrolysis on the textural of acorn vermicelli and its influencing mechanism on the quality. *Food Research International*, 156, 111294 .
13. 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*.
14. Wang, Y., Wang, D., Xing, M., Ji, M., Jiang, X., Jia, L., Li, L., ... et al. (2025). Effect and mechanism of chlorogenic acid inhibition of starch enzymatic hydrolysis: Comparison of different processing methods. *Food chemistry: X*, 29.
15. Yu, J., Zhu, B., Dou, Y., Wei, Y., Tao, Z., Zhang, L., Zhang, T., ... et al. (2025). Formation and in vitro digestion of sorghum starch-resveratrol complex nanoparticles and the corresponding mechanism. *Food Chemistry*, 492 Pt 2, 145457 .
16. Zhong, H., She, Y., Yang, X., Wen, Q., Chen, L., Wang, X., & Chen, Z. (2024). Analysis of the mechanism of resistance to enzymatic hydrolysis of RS-5 resistant starch. *Food Chemistry*, 452, 139570 .

Contatta Enzymes.bio

Hai domande su un ordine? Il nostro team è lieto di aiutarti.

EMAIL wholesale@enzymes.bio

TELEFONO (USA) **+1 (507) 428-6057**

[Contattaci →](#)



400+ Clienti B2B



60+ partner di ricerca universitari



54 serviti in tutto il mondo

© 2026 Enzymes.bio · Fornitura di enzimi industriali e per la lavorazione alimentare · Non destinato al consumo umano né alla vendita al dettaglio.