

Cellulasi acida per idrolisi della fibra: applicazioni in biomasse, estrazione vegetale, mangimi e tessile

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

La **cellulasi acida** è un enzima cellulolitico impiegato per idrolizzare la fibra cellulosa in matrici vegetali, rendendo più accessibili zuccheri, nutrienti, composti intracellulari o superfici fibrose. È particolarmente rilevante in processi a pH acido o moderatamente acido, come trasformazione di frutta, valorizzazione di biomasse lignocellulosiche, ingredienti fibrosi per mangimi e trattamenti tecnici su fibre cellulose.

Enzymes.bio fornisce **Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber** come prodotto acquistabile direttamente online in unità da **1 kg**; Enzymes.bio opera come fornitore, non come produttore né come laboratorio. Il certificato di analisi e la scheda di dati di sicurezza sono forniti insieme all'ordine .

Che cos'è la cellulasi acida e perché è utile sulla fibra vegetale

La cellulasi è un sistema enzimatico che catalizza l'idrolisi della cellulosa, il polisaccaride strutturale formato da unità di glucosio collegate da legami **β -1,4-glicosidici**. La denominazione "cellulasi acida" indica una cellulasi adatta a lavorare in ambiente acido o moderatamente acido, una condizione frequente in matrici vegetali, sottoprodotti agroalimentari, biomasse pretrattate e alcuni trattamenti tessili ^[1].

Dal punto di vista applicativo, "idrolizzare la fibra" non significa semplicemente dissolvere un materiale vegetale. Significa ridurre in modo controllato la lunghezza delle catene cellulose, aprire la struttura della parete cellulare, aumentare la disponibilità di superfici reattive e, quando il processo lo richiede, favorire la formazione di zuccheri più semplici. La ricerca sulla cellulosa mostra che la suscettibilità all'idrolisi enzimatica aumenta quando diminuiscono cristallinità e grado di polimerizzazione, perché l'enzima incontra una struttura meno compatta e più accessibile ^[2].

Una cellulasi efficace opera di norma come combinazione di attività complementari. Le endoglucanasi tagliano punti interni della catena cellulosa; le cellobiidrolasi o esoglucanasi agiscono sulle estremità liberate; le β -glucosidasi completano la conversione del cellobiosio in glucosio. Studi strutturali e

simulazioni sul meccanismo di idrolisi confermano che il riconoscimento del substrato, l'orientamento del legame glicosidico e l'ambiente catalitico dell'enzima determinano la velocità e la profondità dell'idrolisi [3].

Meccanismo: dalla fibra insolubile a frazioni più accessibili

La cellulosa nelle piante non è presente come polimero isolato. È organizzata in microfibrille, associate a emicellulose, lignina, pectine, proteine strutturali e composti fenolici. Questa architettura protegge la fibra dall'attacco chimico ed enzimatico; per questo una cellulasi agisce meglio quando il substrato è fisicamente bagnabile, sufficientemente disperso e non schermato da barriere ligniniche o da eccessiva cristallinità [4].

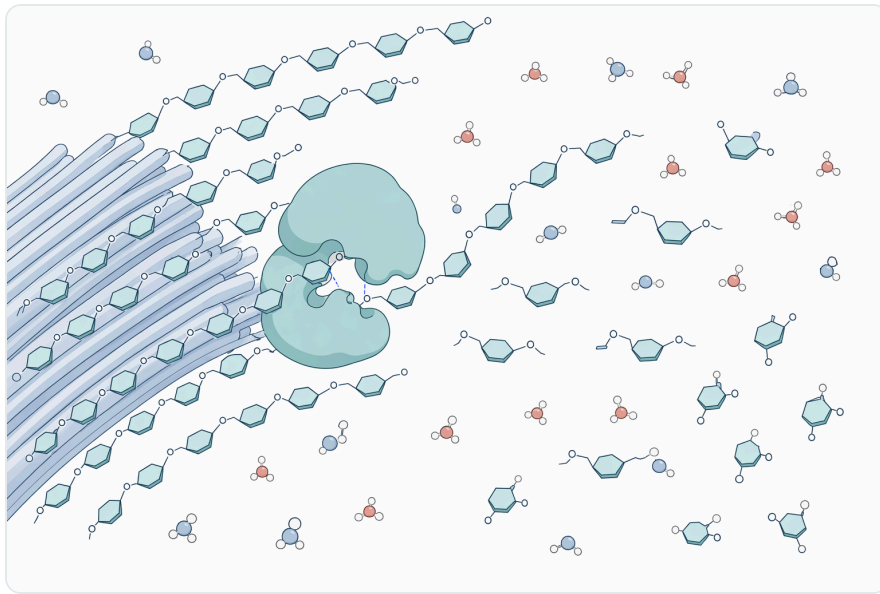


Figure 1. 산성 셀룰라아제는 수화된 셀룰로오스에서 접근 가능한 베타-1,4 결합을 가수분해하여 사슬을 짧게 만들고 식물 섬유 네트워크를 약화시킵니다.

L'azione iniziale delle endoglucanasi crea nuove estremità di catena. Da queste estremità, le esoglucanasi possono rilasciare unità più corte, mentre la β -glucosidasi riduce l'accumulo di cellobiosio, un prodotto intermedio che può limitare l'efficienza delle altre attività cellulolitiche. Questa divisione del lavoro è alla base del concetto di "cocktail cellulolitico", rilevante soprattutto quando si lavora su biomasse complesse come stocchi, bagassa, paglie o residui agricoli [5].

L'ambiente acido è importante perché molte matrici vegetali sono naturalmente acide o vengono acidificate durante la lavorazione. Puree di frutta, mosti, sottoprodotti di estrazione e biomasse sottoposte a pretrattamenti acidi possono trovarsi in condizioni nelle quali una cellulasi neutra risulta

meno coerente con il processo. Una cellulasi acida consente quindi di intervenire sulla frazione cellulosica senza necessariamente spostare il sistema verso condizioni alcaline o neutre, pur restando indispensabile verificare la compatibilità con la specifica matrice di processo ^[1].

Dove la cellulasi acida crea valore industriale

Le applicazioni più rilevanti della cellulasi acida riguardano processi in cui la fibra vegetale rappresenta una barriera: impedisce il rilascio di liquidi, intrappola nutrienti, limita l'estrazione di composti funzionali o rende difficoltosa la trasformazione di biomasse in zuccheri fermentescibili. La stessa logica si applica al tessile, dove la fibra cellulosica non va distrutta ma modificata superficialmente per ottenere un effetto tecnico controllato ^[6].

Area applicativa	Substrato tipico	Funzione della cellulasi acida	Risultato tecnologico atteso	Evidenza rilevante
Biomasse lignocellulosiche	Stocchi, paglie, switchgrass, bagassa, bambù	Idrolisi della cellulosa dopo aumento dell'accessibilità	Rilascio di zuccheri e maggiore saccarificazione	Studi su corn stover, switchgrass e bambù pretrattati ^[7] , ^[5] , ^[8]
Estrazione vegetale acquosa	Semi oleosi, farine vegetali, sottoprodotti ricchi di parete cellulare	Indebolimento della matrice cellulare insieme ad altri enzimi	Migliore liberazione di olio o componenti intracellulari	Studi su zucca, sacha inchi e argan con estrazione enzimatica/green extraction ^[9] , ^[10] , ^[11]
Mangimi e ingredienti fibrosi	Cassava, foraggi, ingredienti vegetali ricchi di fibra	Supporto alla degradazione della parete vegetale	Migliore accessibilità dei nutrienti legati alla fibra	Studi su pollame e bovini con supplementazione enzimatica ^[12] , ^[13]
Tessile cellulosico	Cotone, denim, tessuti ricchi di cellulosa	Modifica superficiale dei microfibrilli	Biopolishing, riduzione della peluria, effetto lavaggio controllato	Biopolishing del cotone con enzimi derivati da bagassa ^[6]
Derivati cellulosici	Cellulosa per nanocristalli o materiali funzionali	Pretrattamento enzimatico prima di idrolisi successiva	Maggiore controllo sulla frammentazione della cellulosa	Preparazione di nanocristalli tramite cellulasi e idrolisi acida sequenziale ^[14]

Biomasse e bioetanolo: perché il pretrattamento cambia il risultato

Nella conversione di biomasse lignocellulosiche, la cellulasi non lavora su cellulosa pura ma su una matrice composita. La lignina può schermare la cellulosa, le emicellulose possono ostacolare l'accesso alla superficie e la cristallinità può rendere le catene meno suscettibili al taglio enzimatico. Per questo la letteratura sul recupero di zuccheri da **corn stover** confronta tecnologie di pretrattamento prima dell'idrolisi, evidenziando che la resa non dipende solo dall'enzima ma anche dalla preparazione della biomassa [7].

Lo stesso principio emerge dagli studi su **switchgrass** pretrattato, nei quali la formulazione enzimatica viene valutata in relazione al substrato già modificato. In pratica, la cellulasi esprime meglio il proprio potenziale quando la biomassa è stata resa accessibile: riduzione della dimensione particellare, apertura della parete, rimozione parziale di barriere ligniniche o alterazione dell'emicellulosa possono aumentare la superficie disponibile per l'adsorbimento produttivo dell'enzima [5].

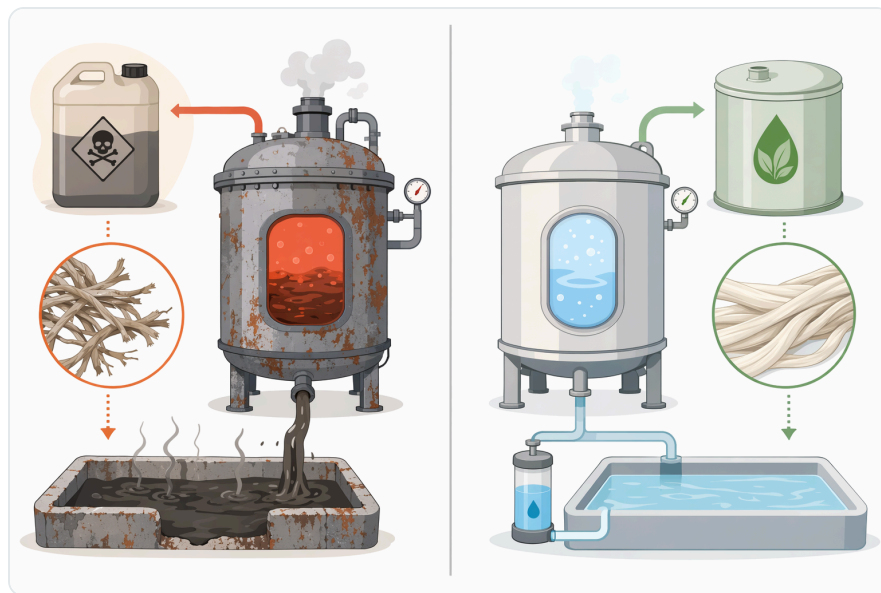


Figure 2. 산성, 중성, 알칼리성 셀룰라아제는 공정의 pH 화학 조건과 그 조건에 대한 기질의 내성에 따라 선택됩니다.

Un punto critico è distinguere l'adsorbimento utile dall'adsorbimento non produttivo. La cellulasi deve legarsi alla cellulosa per idrolizzarla, ma può anche legarsi alla lignina senza generare zuccheri. Questo fenomeno sottrae enzima alla reazione utile e riduce l'efficienza della saccarificazione. Studi su lignina estratta da willow e corn stover hanno mostrato che il legame non produttivo della cellulasi sulla lignina può inibire l'idrolisi della cellulosa [15].

La chimica superficiale del substrato influenza quindi il comportamento dell'enzima. Ricerche su bagassa di canna da zucchero trattata con acido diluito o solfito hanno collegato le differenze di idrolisi enzimatica alle proprietà superficiali del materiale, non solo alla quantità totale di cellulosa presente. Questo è importante per la valutazione industriale: due biomasse con composizione simile possono rispondere in modo diverso se lignina, carica superficiale, porosità e accessibilità non sono uguali ^[4].

Lignina, tensioattivi e additivi di processo: il problema dell'adsorbimento non produttivo

Una delle aree di ricerca più attive riguarda la riduzione dell'interazione improduttiva tra cellulasi e lignina. Il sodio lignosolfonato, ad esempio, è stato studiato per capire come influenzi l'efficienza dell'idrolisi della cellulosa dal punto di vista dell'adsorbimento substrato-enzima. Il tema non è banale: un additivo può migliorare il rilascio di zuccheri se riduce il legame non produttivo, ma l'effetto dipende dalla chimica del substrato e dalla composizione del sistema ^[16].

Anche alcuni tensioattivi sono stati valutati per promuovere l'idrolisi enzimatica di biomasse pretrattate. Nel bambù pretrattato con acido diluito, la ricerca ha esaminato il meccanismo con cui i tensioattivi possono aumentare la prestazione dell'idrolisi, in particolare modificando le interazioni tra lignina, cellulosa ed enzima. Questo tipo di evidenza conferma che l'idrolisi non è solo una reazione enzima-substrato in soluzione, ma un processo interfaciale su superfici solide eterogenee ^[8].

Rhamnolipidi e polivinilpirrolidone sono altri esempi studiati per limitare l'adsorbimento non produttivo o modificare la bagnabilità del sistema. Le ricerche su biomassa di bambù e lignocellulose mostrano che la prestazione dell'idrolisi può migliorare quando l'enzima rimane più disponibile per la cellulosa invece di essere sequestrato da componenti non bersaglio della matrice ^{[17], [18]}.

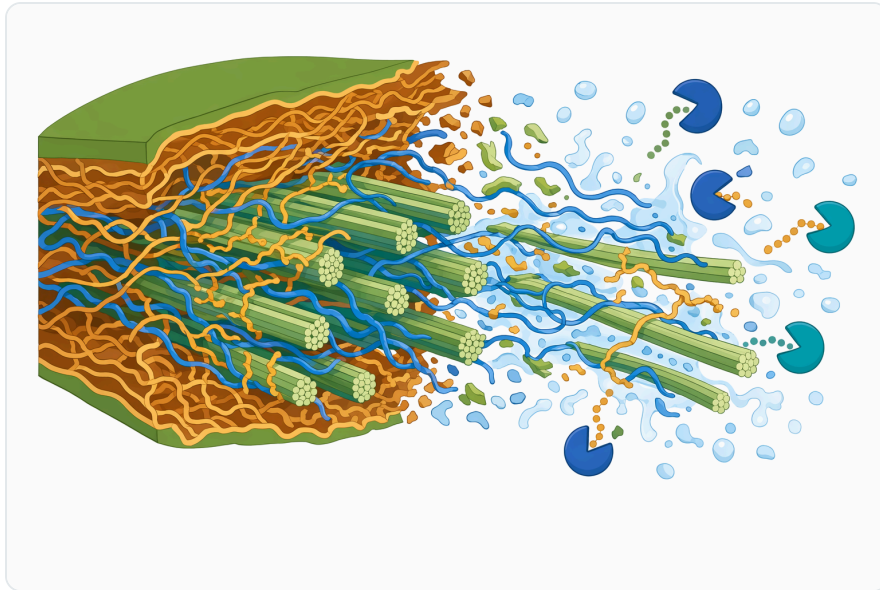


Figure 3. 전처리, 수화, 물리적 파쇄는 산성 셀룰라아제가 접근할 수 있는 셀룰로오스 부위의 수를 늘립니다.

Le tecnologie con solventi eutettici profondi, anche in combinazione con etanolo, sono state studiate per modificare la lignina e migliorare l'idrolisi successiva. Il punto tecnico più importante è che il pretrattamento non serve solo a “rompere” la biomassa: serve a produrre una superficie cellulosa più favorevole all'attacco enzimatico e una lignina meno inibente per la cellulasi ^[19].

Sinergia con xilanasi, pectinasi ed enzimi accessori

La cellulasi è centrale per la frazione cellulosa, ma nelle pareti vegetali reali la cellulosa è intrecciata con xylani, mannani, pectine e altri polisaccaridi. Per questo una cellulasi acida può essere più efficace quando usata in un contesto enzimatico più ampio, soprattutto su materiali ricchi di emicellulosa. Studi su substrati lignocellulosici naturali hanno mostrato un effetto sinergico tra cellulasi e xilanasi durante l'idrolisi, perché la rimozione di xylani può esporre meglio la cellulosa ^[20].

La sinergia non implica che tutte le formulazioni siano equivalenti. In una biomassa ricca di pectina, come molti sottoprodotti di frutta, il contributo di pectinasi può essere determinante per aprire la lamella mediana e liberare succo o composti intracellulari. In una paglia o in una bagassa, invece, la xilanasi può avere un peso maggiore perché gli xylani sono parte rilevante della rete emicellulosica che circonda le microfibrille di cellulosa ^[20].

Nel settore dei derivati cellululosici, la combinazione di pretrattamento con cellulasi e successiva idrolisi acida è stata studiata per preparare nanocristalli di cellulosa. Questo esempio è utile perché mostra una logica diversa dalla produzione di zuccheri: l'enzima non è impiegato per convertire tutto in

glucosio, ma per modificare la struttura della cellulosa in modo da rendere più controllabile la fase successiva [14].

Estrazione vegetale acquosa: apertura della parete cellulare e rilascio di composti

Nell'estrazione acquosa enzimatica di oli e componenti intracellulari, l'obiettivo è indebolire la struttura vegetale senza ricorrere necessariamente a condizioni drastiche. Studi su olio di semi di zucca ottenuto per estrazione enzimatica hanno valutato composizione in acidi grassi, attività antiossidanti e proprietà farmacologiche dell'olio, mostrando l'interesse di processi che usano enzimi per facilitare la liberazione della frazione oleosa da matrici vegetali [9].

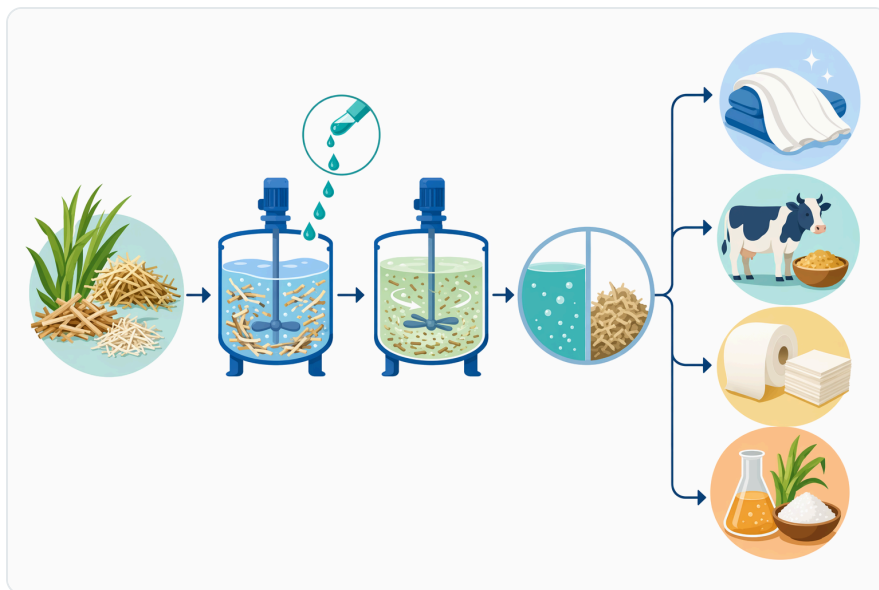


Figure 4. 바이오매스 전환에서는 전처리가 잔류물 구조를 열어 주고, 셀룰라아제가 가용성 당을 방출하며, 이후 발효나 촉매 공정을 통해 그 당을 바이오 기반 제품으로 전환합니다.

La stessa logica è stata applicata a **sacha inchi**, seme noto per l'elevato contenuto di acidi grassi polinsaturi. L'estrazione acquosa enzimatica è descritta come approccio eco-compatibile perché mira a separare l'olio dalla struttura cellulare tramite acqua ed enzimi, riducendo la dipendenza da trattamenti più aggressivi. In questo contesto, gli enzimi della parete cellulare possono contribuire ad aprire la matrice che trattiene le goccioline lipidiche [10].

Anche per l'olio di argan sono state confrontate tecniche convenzionali e tecniche di estrazione "green", con attenzione sia alla resa sia ai parametri qualitativi. Per l'uso della cellulasi acida in estrazione vegetale, il messaggio tecnico è chiaro: l'enzima è utile quando la frazione cellulosa limita la

liberazione di componenti intracellulari, ma il risultato finale dipende dalla struttura specifica del seme, dalla presenza di proteine, pectine ed emicellulose e dalla stabilità dell'emulsione prodotta ^[11].

Mangimi e ingredienti fibrosi: accessibilità dei nutrienti, non “digestione totale”

Nei mangimi, la fibra vegetale può intrappolare amido, proteine, lipidi o minerali all'interno della parete cellulare. Una cellulasi acida può contribuire a indebolire questa barriera e a rendere più disponibili alcune frazioni nutritive, soprattutto quando la dieta include ingredienti ricchi di polisaccaridi non amidacei. Gli studi su polli alimentati con cassava bianca e gialla supplementata con additivi mostrano l'interesse applicativo degli enzimi nel migliorare prestazioni ed economia della dieta, pur con effetti dipendenti dalla formulazione complessiva ^[12].

Nei ruminanti, l'interazione tra enzimi esogeni, microbiota ruminale e struttura del foraggio è ancora più complessa. Uno studio su manzi Simmental ha valutato supplementazione con enzimi e probiotici in relazione a crescita, digeribilità dei nutrienti, caratteristiche della carcassa e qualità della carne. Questo tipo di evidenza non autorizza a considerare la cellulasi come soluzione universale, ma supporta il ruolo degli enzimi nel modulare l'utilizzo dei nutrienti in diete specifiche ^[13].

Il punto pratico è che la cellulasi nei mangimi non “elimina” la fibra; può però aumentare l'accessibilità della parete vegetale e favorire la degradazione di una quota della cellulosa più disponibile. L'effetto dipende dalla specie animale, dal tempo di transito, dal tipo di fibra, dalla presenza di altri enzimi e dal microbiota. Per questo le applicazioni in nutrizione animale devono essere interpretate come interventi di supporto alla digeribilità, non come conversione completa della fibra in zucchero.

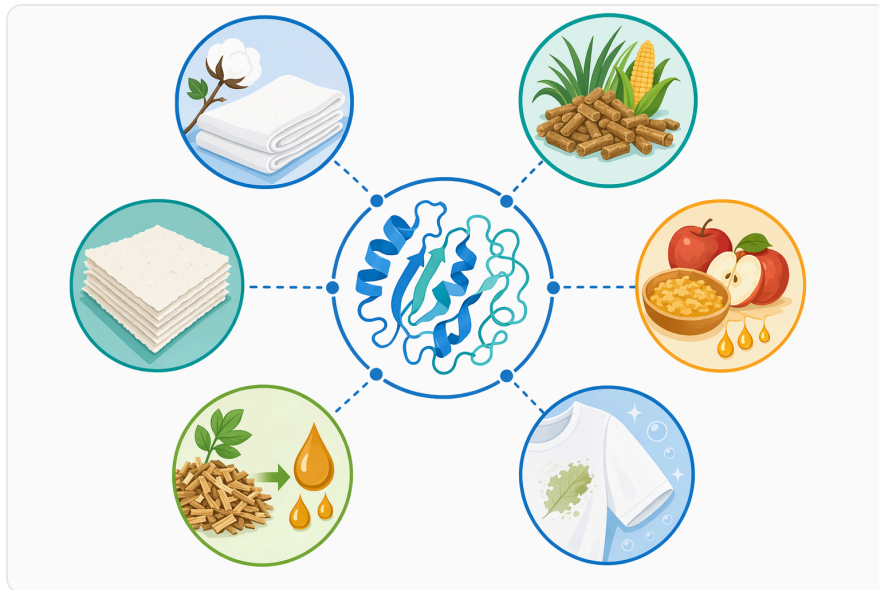


Figure 5. 산성 셀룰라아제는 바이오매스 당화, 식물 추출, 식이섬유 변형, 사료 가공, 섬유 마감, 펄프 또는 종이 섬유 처리에 활용될 수 있습니다.

Tessile e cotone: biopolishing e modifica superficiale controllata

Nel tessile, la cellulasi viene utilizzata in modo diverso rispetto alle biomasse. L'obiettivo non è massimizzare il rilascio di glucosio, ma modificare selettivamente la superficie delle fibre cellulosiche. Nel biopolishing del cotone, l'enzima può rimuovere microfibrille superficiali responsabili di peluria e pilling, migliorando mano, aspetto e pulizia visiva del tessuto. Uno studio recente ha valutato enzimi derivati da bagassa di canna da zucchero per un biopolishing eco-compatibile del cotone ^[6].

La cellulasi acida può essere rilevante anche in trattamenti di denim e lavaggio enzimatico, dove il controllo è fondamentale. Un attacco eccessivo alla fibra può ridurre resistenza o causare perdita di peso indesiderata; un attacco insufficiente può non produrre l'effetto estetico richiesto. La selettività verso la superficie, il tempo di trattamento e la compatibilità con il bagno di lavorazione sono quindi più importanti della sola capacità idrolitica dell'enzima ^[6].

Questa applicazione evidenzia bene la differenza tra "idrolisi della fibra" e "degradazione indiscriminata". In tessile, l'idrolisi deve restare confinata ai punti superficiali più accessibili. In biomassa, invece, si punta spesso a una conversione più profonda della cellulosa. Lo stesso tipo di enzima può quindi avere obiettivi tecnologici molto diversi in funzione del substrato e del processo.

Fattori che influenzano la prestazione della cellulasi acida

Il primo fattore è l'accessibilità della cellulosa. Una cellulosa amorfa, pretrattata o meno cristallina viene generalmente idrolizzata più facilmente di una cellulosa altamente ordinata. La ricerca che collega cristallinità, grado di polimerizzazione e suscettibilità all'idrolisi mostra che non basta conoscere il contenuto totale di cellulosa: conta anche la sua organizzazione fisica [2].

Il secondo fattore è la presenza di lignina. La lignina non è il bersaglio della cellulasi, ma può limitare l'idrolisi in due modi: fisicamente, schermando la cellulosa; chimicamente, adsorbendo l'enzima in modo non produttivo. Gli studi sul legame cellulasi-lignina spiegano perché due materiali pretrattati con tecnologie diverse possano generare rese diverse anche quando la quantità di cellulosa residua appare comparabile [15].



Figure 6. 데님과 면 마감 처리에서 산성 셀룰라아제는 처리가 제어될 경우 주로 노출된 표면 미세섬유에 작용합니다.

Il terzo fattore è la complementarità enzimatica. Cellulasi e xilanasi possono cooperare perché l'idrolisi degli xylani espone nuove superfici cellulose. In matrici ricche di pectina o gomme vegetali, altri enzimi possono diventare necessari per rimuovere ostacoli strutturali diversi dalla cellulosa. Questo è coerente anche con studi su gomma di guar parzialmente idrolizzata, nei quali la modifica enzimatica dei polisaccaridi cambia proprietà funzionali come viscosità e comportamento in soluzione [21].

Il quarto fattore è il tipo di processo. In un estratto vegetale si cerca il rilascio di composti; in un mangime si cerca una maggiore accessibilità nutrizionale; in un tessuto si cerca una modifica superficiale; in una biomassa per fermentazione si cerca il rilascio di zuccheri. La stessa cellulasi acida

deve quindi essere valutata rispetto al risultato desiderato, non come ingrediente generico da aggiungere a qualunque matrice fibrosa.

Aspettative realistiche e limiti tecnici

La cellulasi acida è uno strumento potente quando il collo di bottiglia è la frazione cellulosica della parete vegetale. Può contribuire alla saccarificazione di biomasse pretrattate, alla liberazione di composti da materiali vegetali, al miglioramento dell'accessibilità della fibra nei mangimi e alla modifica superficiale di tessuti cellulosici. Tuttavia, il risultato non dipende solo dall'enzima: substrato, pretrattamento, lignina, emicellulose, miscelazione, tempo di contatto e compatibilità del pH sono determinanti ^[7].

Non è corretto aspettarsi che una cellulasi acida sostituisca sempre un pretrattamento meccanico, termico o chimico su biomasse resistenti. La ricerca su pretrattamenti con acido diluito, solfito, solventi eutettici profondi e additivi superficiali mostra che l'efficienza dell'idrolisi è il prodotto di una sequenza: apertura della biomassa, adsorbimento produttivo dell'enzima, idrolisi della cellulosa e gestione degli eventuali inibitori ^[4], ^[19].

Allo stesso modo, non è corretto attribuire alla sola cellulasi tutti gli effetti osservati in processi vegetali complessi. In estrazione alimentare o lavorazione di frutta, pectinasi, emicellulasi e proteasi possono contribuire in modo decisivo. Nei mangimi, microbiota e formulazione dietetica modulano l'effetto. Nel tessile, la resa tecnica dipende dalla superficie della fibra e dalle condizioni operative. La cellulasi acida va quindi considerata un componente funzionale mirato, non un additivo universale.

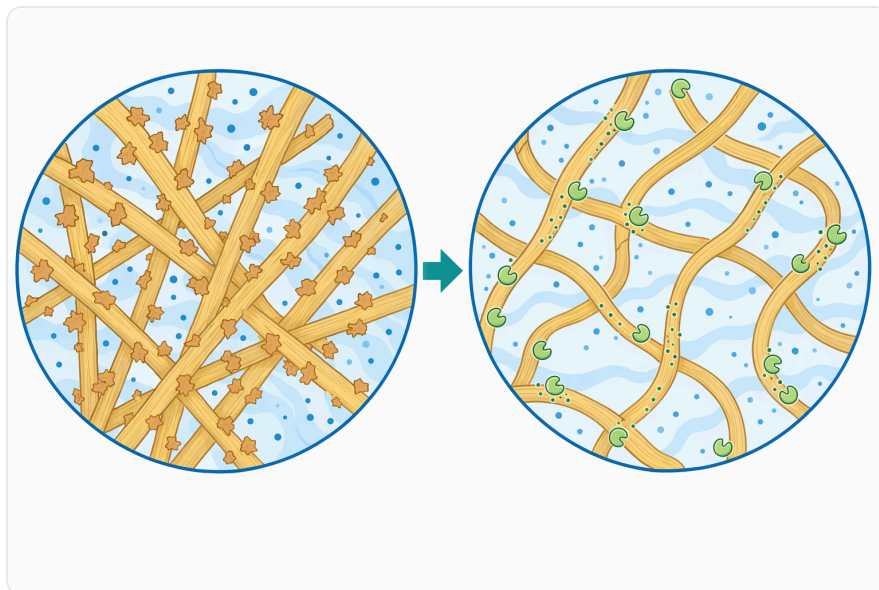


Figure 7. 펄프와 재생 섬유에서 제어된 셀룰라아제 처리는 셀룰로오스를 당으로 완전히 전환하기보다 접근 가능한 섬유 표면을 변형합니다.

Enzymes.bio e disponibilità del prodotto

Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber è fornita da Enzymes.bio per applicazioni professionali in cui è utile intervenire sulla fibra cellulosica in ambiente acido o moderatamente acido. Il prodotto è disponibile online in unità da **1 kg**; la documentazione CoA e SDS accompagna l'ordine, offrendo le informazioni di base necessarie per la gestione tecnica e di sicurezza del materiale .

Enzymes.bio non è un produttore e non opera come laboratorio di analisi. La funzione del fornitore è rendere disponibile il prodotto e la documentazione associata all'ordine; la valutazione applicativa resta legata al processo specifico, alla matrice trattata e ai requisiti normativi del settore di utilizzo.

Sintesi tecnica

La **cellulasi acida** idrolizza la cellulosa rompendo legami β -1,4-glicosidici e trasformando una fibra vegetale compatta in frazioni più accessibili. La sua efficacia aumenta quando la cellulosa è esposta, meno cristallina e meno protetta da lignina o emicellulose; per questo pretrattamento, sinergia con xilanasi o altri enzimi e controllo dell'adsorbimento non produttivo sono temi centrali nella letteratura tecnica [2], [20], [15].

Le applicazioni principali includono biomasse per zuccheri fermentescibili, estrazione vegetale acquosa, ingredienti fibrosi per mangimi, tessile cellulosico e preparazione di materiali derivati dalla cellulosa. In tutti questi casi, il valore della cellulasi acida non sta in una degradazione indiscriminata

della fibra, ma in una modifica controllata della struttura cellulosa per rendere il materiale più lavorabile, più estraibile o più accessibile al processo successivo.

Ordina Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber 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 Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber →](#)

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. Carrigan, J. (2016). [Applications of Cellulase in Biofuel Industry](#).
2. Thielemans, K., Bondt, Y. D., Comer, L., Raes, J., Everaert, N., Sels, B., & Courtin, C. (2023). [Decreasing the Crystallinity and Degree of Polymerization of Cellulose Increases Its Susceptibility to Enzymatic Hydrolysis and Fermentation by Colon Microbiota](#). *Foods*, 12.
3. Pereira, C. S., Silveira, R. L., & Skaf, M. (2021). [QM/MM Simulations of Enzymatic Hydrolysis of Cellulose: Probing the Viability of an Endocyclic Mechanism for an Inverting Cellulase](#). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 61, 1902 - 1912.
4. Lan, T., Zheng, W., Dong, Y. F., Jiang, Y., Qin, Y., Yue, G., & Zhou, H. (2020). [Exploring surface properties of substrate to understand the difference in enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse treated with dilute acid and sulfite](#). *Industrial Crops and Products*, 145, 112128.
5. Falls, M., Shi, J., Ebrik, M. A., Redmond, T., Yang, B., Wyman, C., Garlock, R. J., ... et al. (2011). [Investigation of enzyme formulation on pretreated switchgrass](#). *Bioresource Technology*, 102 24, 11072-9 .
6. Ikbal, M., Tisha, F. A., Asheque, A. I., Hasnat, E., & Uddin, M. A. (2024). [Eco-friendly biopolishing of cotton fabric through wasted sugarcane bagasse-derived enzymes](#). *Heliyon*, 10.
7. Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Holtzapple, M., Ladisch, M., & Lee, Y. Y. (2005). [Comparative sugar recovery data from laboratory scale application of leading pretreatment technologies to corn stover](#). *Bioresource Technology*, 96 18, 2026-32 .
8. Huang, C., Zhao, X., Zheng, Y., Lin, W., Lai, C., Yong, Q., Ragauskas, A. J., ... et al. (2022). [Revealing the mechanism of surfactant-promoted enzymatic hydrolysis of dilute acid pretreated bamboo](#). *Bioresource Technology*, 127524 .
9. Prommaban, A., Kuanchoom, R., Seepuan, N., & Chaiyana, W. (2021). [Evaluation of Fatty Acid Compositions, Antioxidant, and Pharmacological Activities of Pumpkin \(Cucurbita moschata\) Seed Oil from Aqueous Enzymatic](#)

Extraction. *Plants*, 10.

10. Nguyen, H., Vuong, D., Nguyen, N. T., Nguyen, N. P., Su, C., Wang, F., & Juan, H. (2020). Aqueous enzymatic extraction of polyunsaturated fatty acid-rich sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seed oil: An eco-friendly approach. *Lwt - Food Science and Technology*, 133, 109992.
11. Mechqoq, H., Yaagoubi, M. E., Momchilova, S., Msanda, F., & Aouad, N. E. (2021). Comparative study on yields and quality parameters of argan oils extracted by conventional and green extraction techniques. *Grain & Oil Science and Technology*.
12. Ande, K. O., Oso, A., Oluwatosin, O., Sanni, L., Bello, K., Adebayo, K., & Lala, A. (2018). Performance and economic benefits of meat-type chicken fed diets containing white and yellow cassava supplemented with different additives. *Food Chain*.
13. Gao, L., Yan, X., Liu, Y., & Xia, C. (2022). Effect of enzyme and probiotic supplementation on growth performance, nutrient digestibility, carcass traits, and meat quality of Simmental steers. *Revista Brasileira de Zootecnia*.
14. An, X., Wen, Y., Cheng, D., Zhu, X., & Ni, Y. (2016). Preparation of cellulose nano-crystals through a sequential process of cellulase pretreatment and acid hydrolysis. *Cellulose*, 23, 2409-2420.
15. Song, Y., Chandra, R., Zhang, X., & Saddler, J. (2020). Non-productive cellulase binding onto deep eutectic solvent (DES) extracted lignin from willow and corn stover with inhibitory effects on enzymatic hydrolysis of cellulose. *Carbohydrate Polymers*, 250, 116956 .
16. Zheng, W., Lan, T., Li, H., Yue, G., & Zhou, H. (2020). Exploring why sodium lignosulfonate influenced enzymatic hydrolysis efficiency of cellulose from the perspective of substrate-enzyme adsorption. *Biotechnology for Biofuels*, 13.
17. Sha, R., Yu, Z., Zhenzhen, W., Gbor, E. M., Jiang, L., Bi, Y., Fang, S., ... et al. (2020). Effects of Rhamnolipids on Enzymatic Hydrolysis of Bamboo Biomass and Mechanism. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 14, 453-460.
18. Cai, C., Qiu, X., Zeng, M., Lin, M., Lin, X., Lou, H., Zhan, X., ... et al. (2017). Using polyvinylpyrrolidone to enhance the enzymatic hydrolysis of lignocelluloses by reducing the cellulase non-productive adsorption on lignin. *Bioresource Technology*, 227, 74-81 .
19. Yao, L., Chai, M. C., Cui, P., Yoo, C. G., Yuan, J., Meng, X., & Yang, H. (2023). Mechanism of enhanced enzymatic hydrolysis performance by ethanol assisted deep eutectic solvent pretreatment- from the perspective of lignin. *Bioresource Technology*, 129461 .
20. Song, H., Gao, Y., Yang, Y., Xiao, W., Liu, S., Xia, W., Liu, Z., ... et al. (2016). Synergistic effect of cellulase and xylanase during hydrolysis of natural lignocellulosic substrates. *Bioresource Technology*, 219, 710-715 .
21. Mudgil, D. (2018). Partially Hydrolyzed Guar Gum: Preparation and Properties.

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.