

Cellulasi acida liquida per idrolisi delle fibre: applicazioni in biomasse vegetali, fibre alimentari, carta riciclata e ingredienti funzionali

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

Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysis è una preparazione enzimatica liquida a base di cellulasi acida impiegata per modificare o idrolizzare in modo controllato la componente cellulosica di fibre vegetali, biomasse lignocellulosiche, polpe, residui agricoli e ingredienti fibrosi. La sua utilità tecnica deriva dalla capacità delle cellulasi di aumentare l'accessibilità della parete cellulare vegetale, favorendo rilascio di zuccheri, modifica della struttura fibrosa, estrazione di composti intrappolati o miglioramento della processabilità, a seconda della matrice e delle condizioni di processo ^[1].

Enzymes.bio fornisce online questo prodotto in formato liquido da **1 kg**; Enzymes.bio è un **fornitore online**, non un produttore e non un laboratorio analitico. Il certificato di analisi e la scheda di dati di sicurezza sono forniti insieme all'ordine.

Che cos'è una cellulasi acida liquida

Una cellulasi è un sistema enzimatico capace di catalizzare la scissione dei legami della cellulosa, il polisaccaride strutturale più abbondante nelle pareti cellulari vegetali. La cellulosa è formata da catene lineari di glucosio organizzate in regioni ordinate e resistenti; questa architettura conferisce rigidità alla fibra, ma limita anche l'accesso di acqua, altri enzimi e reagenti di processo. Nella pratica industriale, l'idrolisi enzimatica delle materie prime vegetali è considerata una strategia importante per rendere più utilizzabili substrati fibrosi altrimenti difficili da trasformare ^[1].

La definizione "**acida**" indica che l'enzima è destinato a operare in ambienti di processo acidi o moderatamente acidi, condizione frequente in molte matrici vegetali, sospensioni di frutta, polpe, residui agricoli e processi di idrolisi di fibre. Non significa che l'enzima "acidifichi" il materiale: la sua funzione è catalitica, cioè accelera la rottura di specifici legami della cellulosa quando l'ambiente è compatibile con la sua attività. Questo aspetto è rilevante perché molti flussi vegetali industriali hanno già una chimica di processo in cui una cellulasi acida può essere più adatta di preparazioni ottimizzate per condizioni neutre o alcaline.

La forma **liquida** è utile quando il substrato è una polpa, uno slurry, una sospensione vegetale, una biomassa umida o una miscela fibrosa che richiede dispersione uniforme dell'enzima. In questi casi, la distribuzione omogenea nel mezzo è un fattore pratico importante: l'enzima deve raggiungere la superficie della fibra e penetrare nelle zone accessibili della parete cellulare per esercitare un effetto misurabile. La forma liquida non cambia il principio biochimico dell'idrolisi, ma può semplificare l'incorporazione in processi già basati su fasi acquose.

Meccanismo: come la cellulasi modifica la fibra vegetale

La cellulosa non è esposta come una catena isolata. Nelle fibre vegetali è inserita in una struttura composta che include emicellulose, pectine, lignina, proteine, minerali e composti fenolici, in proporzioni diverse secondo la fonte botanica e il pretrattamento. Per questo motivo l'idrolisi enzimatica delle materie prime vegetali è spesso descritta come un processo condizionato dall'accessibilità del substrato, non solo dalla presenza dell'enzima ^[1].

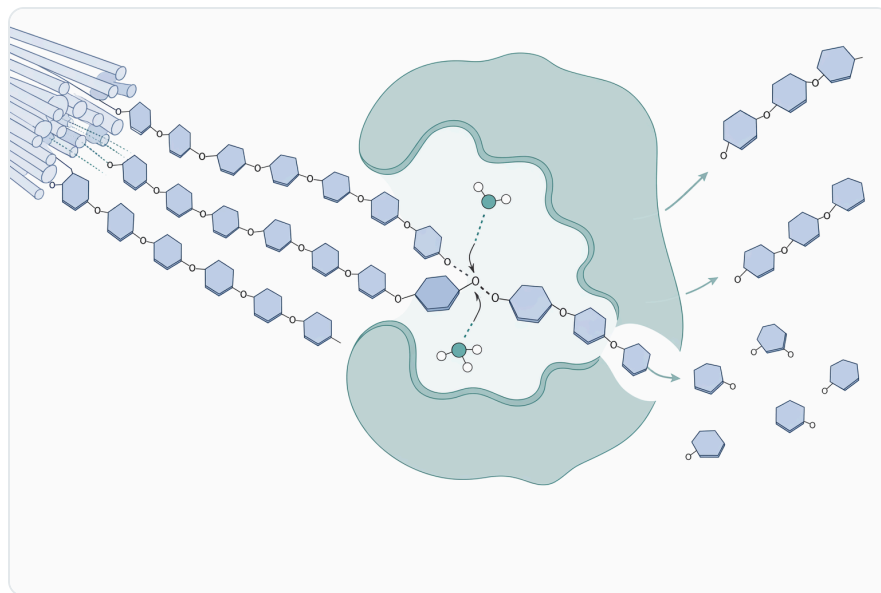


Figure 1. 산성 셀룰라아제는 셀룰로오스 섬유의 베타-1,4 글리코시드 결합을 가수분해하여 더 짧은 셀로올리고당과 포도당을 방출합니다.

In termini funzionali, l'azione della cellulasi può essere vista come una sequenza di effetti complementari. Prima vengono indebolite o tagliate porzioni accessibili delle catene cellulose; poi la struttura della fibra diventa più aperta, più porosa o più frammentata; infine possono formarsi oligosaccaridi e zuccheri più piccoli, se il sistema enzimatico e il tempo di trattamento sono sufficienti. Il risultato finale non è sempre la degradazione completa: in molte applicazioni l'obiettivo è una **modifica parziale e controllata** della fibra, non la conversione totale in zuccheri.

La cellulasi lavora soprattutto sulla frazione cellulosica, mentre emicellulose e xylani richiedono enzimi differenti. Questa distinzione è importante nelle biomasse lignocellulosiche: la presenza di xylan può schermare la cellulosa e ridurre l'accessibilità, motivo per cui la produzione enzimatica di xilo-oligosaccaridi da xylan e la modifica di frazioni emicellulosiche sono spesso discusse come processi complementari all'idrolisi cellulolitica [2]. In altre parole, una cellulasi acida può essere centrale quando la cellulosa è il bersaglio, ma non sostituisce automaticamente enzimi rivolti ad altre componenti della parete vegetale.

Il limite principale è la **recalcitranza** della fibra. Una fibra poco pretrattata, ricca di lignina o fortemente cristallina può resistere all'attacco enzimatico anche se contiene molta cellulosa. Al contrario, una fibra già aperta da macinazione, raffinazione, trattamento termico, estrusione o altre operazioni fisiche può offrire più siti accessibili. Le strategie di valorizzazione dei residui vegetali tramite idrolisi enzimatica si basano proprio sull'integrazione tra preparazione del substrato e biocatalisi [3].

Dove è utile: applicazioni industriali principali

La cellulasi acida liquida per idrolisi delle fibre è rilevante in tutti i processi in cui la cellulosa limita resa, processabilità o funzionalità del materiale. Le applicazioni più comuni riguardano biomasse lignocellulosiche, fibre alimentari, residui vegetali, carta riciclata, polpe, ingredienti funzionali e matrici vegetali complesse.

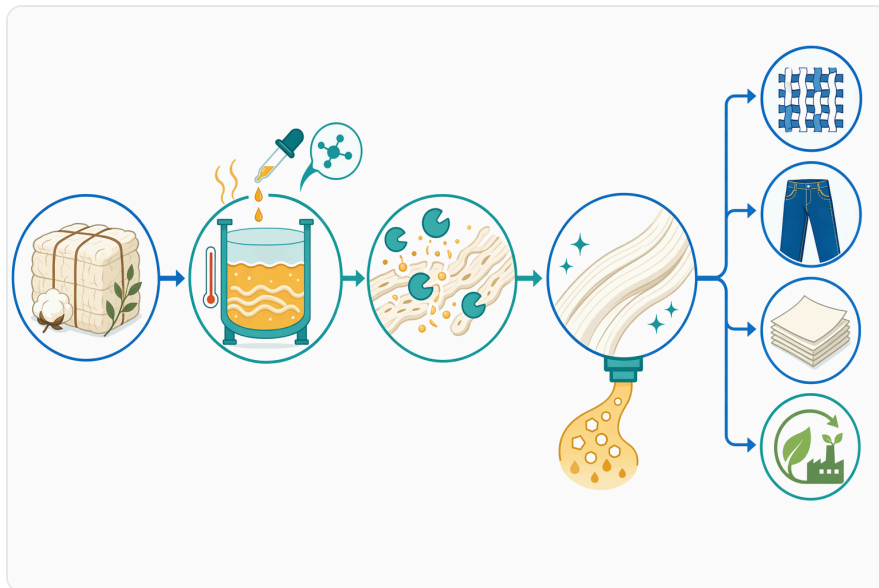


Figure 2. 산업용 섬유 가수분해 공정에서는 산성 셀룰라아제를 따뜻한 산성 욕조에 투입하여 셀룰로오스 표면을 개질하고 수용성 가수분해 산물을 방출합니다.

Area applicativa	Obiettivo tecnico	Effetto atteso della cellulasi acida	Limite da considerare
Biomasse vegetali e residui agricoli	Aumentare la disponibilità di frazioni idrolizzabili	Apertura della matrice cellulosa e rilascio di frazioni più piccole	Lignina ed emicellulose possono limitare l'accesso
Fibre alimentari e ingredienti funzionali	Modificare texture, idratazione e funzionalità	Riduzione parziale della struttura insolubile, aumento della porosità e possibile incremento della frazione più dispersibile	Serve controllo per evitare perdita eccessiva di struttura
Polpe, succhi e materiali vegetali umidi	Facilitare estrazione e chiarificazione di componenti intrappolati	Degradazione parziale della parete cellulare	Spesso richiede sinergia con enzimi pectolitici o emicellulasici
Carta e fibre riciclate	Migliorare drenaggio, deinking o raffinabilità	Modifica superficiale delle fibre cellulose	Trattamenti troppo intensi possono indebolire la fibra
Residui vegetali per ingredienti cosmetici o bioattivi	Favorire rilascio di composti funzionali	Maggiore accessibilità della matrice vegetale	Il profilo estrattivo dipende dalla materia prima

Biomasse lignocellulosiche e valorizzazione dei residui

Le biomasse lignocellulosiche includono paglie, bucce, stocchi, polpe, residui di lavorazione, fibre annuali e sottoprodotti agricoli. In questi materiali la cellulosa è una risorsa abbondante, ma difficilmente disponibile senza un trattamento che aumenti l'accessibilità. Le revisioni sull'idrolisi enzimatica delle materie prime vegetali descrivono proprio questo passaggio come una delle basi della conversione di residui vegetali in zuccheri, intermedi e ingredienti ad alto valore ^[1].

La cellulasi acida può essere usata per favorire la rottura controllata della componente cellulosa dopo che il materiale è stato preparato in modo adeguato. L'idrolisi enzimatica è particolarmente interessante quando si vuole evitare un trattamento chimico troppo aggressivo o quando si desidera valorizzare residui organici in processi più selettivi. La letteratura sulla valorizzazione dei rifiuti tramite idrolisi chimica ed enzimatica sottolinea che gli approcci enzimatici possono contribuire alla trasformazione di flussi di scarto in prodotti industriali, pur richiedendo una progettazione specifica per ogni substrato ^[4].

Nel caso di residui vegetali destinati all'estrazione di composti bioattivi, la cellulasi non è utile solo per produrre zuccheri. La sua azione può aprire la parete cellulare e rendere più accessibili fenoli, pigmenti, polisaccaridi modificati o frazioni funzionali intrappolate nella matrice. La valorizzazione sostenibile dei residui vegetali per ottenere ingredienti funzionali, inclusi quelli destinati ad applicazioni cosmetiche, è infatti collegata all'uso di idrolisi enzimatica per facilitare l'estrazione selettiva di componenti utili [3].

La risposta del substrato, tuttavia, varia molto. Una buccia di agrume, una fibra di canapa, una polpa di barbabietola, una crusca, una fibra di mais o un residuo legnoso non hanno la stessa composizione. Differiscono per contenuto di cellulosa, emicellulosa, pectina, lignina, grado di cristallinità, dimensione particellare e accessibilità. Per questo la cellulasi acida dovrebbe essere interpretata come uno strumento di processo, non come una soluzione generica che produce lo stesso risultato su ogni biomassa.

Fibre alimentari e ingredienti funzionali

Le fibre alimentari non sono solo "riempitivi": influenzano assorbimento d'acqua, viscosità, texture, stabilità, sensazione al morso e interazione con proteine, lipidi e composti bioattivi. Nei prodotti trasformati e nelle alternative vegetali alla carne, la fibra può contribuire alla struttura, alla ritenzione di acqua e alla percezione sensoriale; per questo la progettazione della frazione fibrosa è diventata un tema tecnico importante nello sviluppo di alimenti funzionali e plant-based [5].



Figure 3. 산성 셀룰라아제는 섬유 후가공, 데님 가공, 펄프 및 제지 개질, 바이오 매스 처리, 세탁 관리, 섬유질이 풍부한 사료 분야에 사용됩니다.

L'idrolisi controllata con cellulasi acida può modificare una fibra insolubile senza necessariamente distruggerla. La riduzione parziale della lunghezza delle catene cellulosiche, l'apertura della superficie e l'aumento della porosità possono cambiare il modo in cui la fibra interagisce con acqua e altri ingredienti. Le strategie avanzate di modifica delle fibre alimentari vegetali includono trattamenti enzimatici proprio perché possono agire in modo più selettivo rispetto a interventi puramente chimici o meccanici ^[6].

Questo è particolarmente rilevante negli ingredienti a base di sottoprodotti vegetali, come bucce, crusche, residui di estrazione, vinacce o polpe. Una fibra troppo grossolana o poco idratata può peggiorare texture e stabilità; una fibra trattata in modo controllato può invece diventare più dispersibile o più compatibile con una formulazione. La modifica enzimatica non deve essere confusa con una semplice "solubilizzazione": spesso il valore tecnologico deriva da un equilibrio tra integrità strutturale e maggiore accessibilità.

Nelle formulazioni plant-based, la cellulasi può avere anche un ruolo indiretto. Le matrici vegetali contengono proteine, amidi, fibre e polisaccaridi non amidacei; modificare la frazione cellulosica può influenzare la disponibilità fisica di altri componenti e la microstruttura complessiva. Gli studi sulla modifica enzimatica delle proteine vegetali mostrano che le proprietà funzionali degli ingredienti plant-based dipendono da trasformazioni mirate della matrice, anche se gli enzimi proteolitici e cellulolitici hanno bersagli diversi ^[7]. In pratica, la cellulasi non modifica direttamente le proteine come farebbe una proteasi, ma può contribuire alla riorganizzazione della matrice vegetale quando la fibra ostacola dispersione o idratazione.

Fibre vegetali tecniche, microfibrillazione e materiali cellulosici

La cellulosa è rilevante anche come materiale tecnico. Fibre annuali e fonti vegetali non legnose possono essere trasformate in cellulosa microfibrillata o nanofibrillata, materiali studiati per proprietà meccaniche, reologiche e di rinforzo. Il confronto tra idrolisi enzimatica e raffinazione meccanica nella produzione di cellulosa micro- e nanofibrillata da fibre vegetali annuali evidenzia che l'azione enzimatica può essere una via per facilitare la fibrillazione e modificare la struttura della fibra ^[8].

In questo contesto, la cellulasi non serve necessariamente a convertire la cellulosa in zuccheri. Può essere impiegata per indebolire punti specifici della fibra, ridurre l'energia richiesta da trattamenti meccanici successivi o aumentare la separazione delle fibrille. Il principio è diverso dalla saccarificazione spinta: si cerca una modifica controllata che renda la fibra più lavorabile preservando una parte della struttura cellulosica.

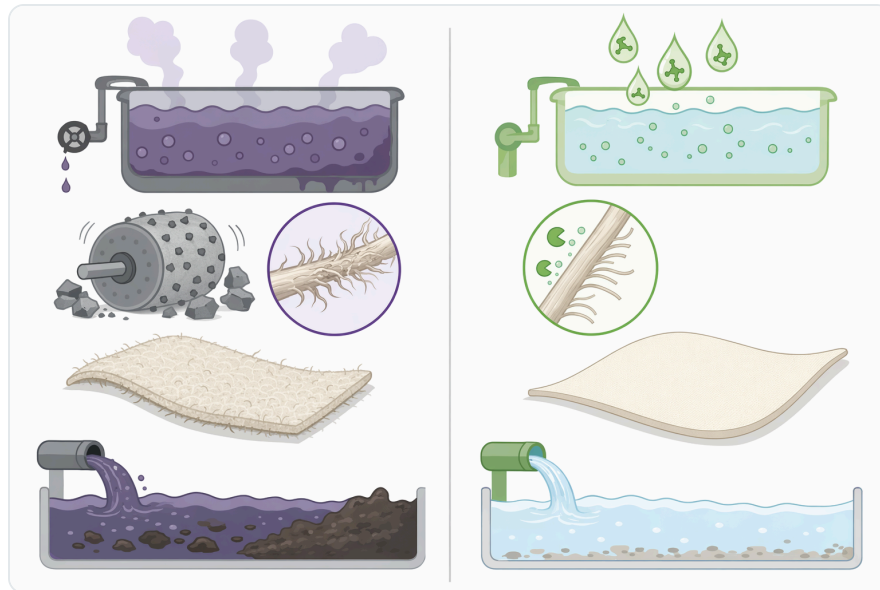


Figure 4. 강한 화학 처리나 연마 처리에 비해 산성 셀룰라아제는 더 온화하고 선택적인 셀룰로오스 섬유 가수분해를 가능하게 합니다.

Le fibre vegetali naturali, inoltre, rispondono in modo diverso a trattamenti enzimatici e alcalini. Studi recenti su fibre vegetali di *Sambucus ebulus* hanno esaminato come trattamenti enzimatici e alcalini possano influenzare proprietà fisico-chimiche della fibra, confermando che l'intervento sulla parete vegetale cambia caratteristiche materiali e non solo composizione chimica ^[9]. Questo tipo di evidenza è utile per applicazioni in compositi, packaging, rinforzi fibrosi e materiali bio-based.

Carta riciclata, deinking e lavorazione delle fibre cellulosiche

Nel settore carta e riciclo, la fibra cellulosica è sottoposta a cicli di lavorazione che possono ridurre flessibilità, drenabilità e qualità della pasta. Gli enzimi sono stati studiati come strumenti per affrontare problemi di lavorazione delle fibre riciclate, inclusi drenaggio, rimozione dell'inchiostro, raffinazione e miglioramento della processabilità ^[10].

La cellulasi può agire sulla superficie della fibra, modificando microfibrille e zone amorfe più accessibili. Un trattamento controllato può migliorare la liberazione di particelle d'inchiostro o favorire la raffinabilità; un trattamento eccessivo, al contrario, può ridurre resistenza e lunghezza utile della fibra. Questa distinzione è fondamentale: nel riciclo della carta l'obiettivo non è "digerire" la cellulosa, ma intervenire abbastanza da migliorare la lavorazione senza compromettere le prestazioni del foglio.

Le applicazioni su carta riciclata mostrano bene la natura di processo della cellulasi acida. Il risultato dipende da tipo di fibra, grado di riciclo, presenza di cariche minerali, inchiostri, adesivi, contaminanti e condizioni meccaniche. Per questo l'enzima va considerato come parte di un sistema più ampio di

trattamento della pasta, non come sostituto automatico delle operazioni di pulizia, flottazione o raffinazione.

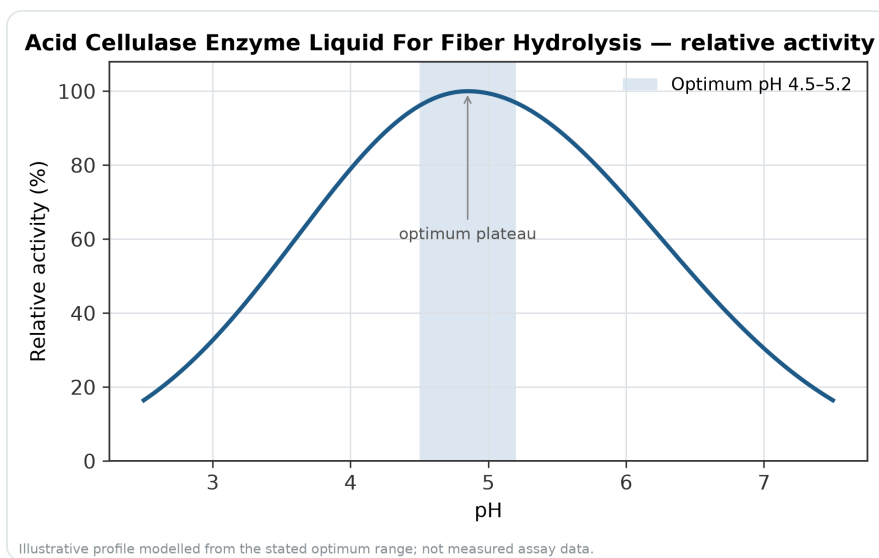


Figure 5. pH에 따른 섬유 가수분해용 산성 셀룰라아제 효소 액상의 상대 활성으로, pH 4.5–5.2에서 최적 활성 구간이 나타납니다.

Ingredienti bioattivi, estrazione vegetale e sottoprodotti

L'idrolisi enzimatica delle fibre può aumentare l'accesso a composti bioattivi contenuti in pareti cellulari, vacuoli o frazioni legate alla matrice. Nei residui vegetali destinati a ingredienti funzionali, l'obiettivo può essere il recupero di polifenoli, frazioni polisaccaridiche, composti aromatici o estratti con attività tecnologica. La valorizzazione sostenibile dei residui vegetali tramite idrolisi enzimatica è stata descritta come una strategia per ottenere ingredienti funzionali anche in ambiti come la cosmetica [3].

La cellulasi acida può contribuire a questo processo rompendo barriere cellulosiche che ostacolano il rilascio di composti. Tuttavia, non tutti i bioattivi sono legati alla cellulosa e non tutte le matrici richiedono lo stesso enzima. In alcuni materiali, pectine ed emicellulose sono più determinanti della cellulosa; in altri, la lignina o i complessi fenolici limitano il recupero. L'uso della cellulasi è quindi più razionale quando la struttura cellulosica è una barriera fisica rilevante.

Questa logica è coerente con l'approccio di economia circolare: trattare residui vegetali non solo come scarti, ma come fonti di ingredienti e intermedi. L'idrolisi enzimatica può ridurre l'intensità di alcuni trattamenti e migliorare la selettività, ma deve essere integrata con separazione, stabilizzazione e formulazione dell'estratto finale [4].

Perché l'ambiente acido è importante

Molte matrici vegetali hanno un ambiente naturalmente acido o vengono processate in condizioni acide per stabilità, estrazione o controllo microbiologico. Una cellulasi acida è progettata per essere compatibile con questo tipo di contesto, rendendola adatta a processi in cui una cellulasi neutra o alcalina potrebbe non essere la scelta più coerente. La compatibilità con il mezzo è importante perché l'attività enzimatica dipende dalla conformazione della proteina e dall'accessibilità dei legami da idrolizzare.

L'ambiente acido può essere utile anche quando si lavora con frutta, bucce, polpe e residui vegetali ricchi di acidi organici. In queste matrici, mantenere condizioni coerenti con il processo esistente può evitare passaggi aggiuntivi di correzione del mezzo. Detto questo, "acido" non significa automaticamente efficace: substrato, miscelazione, tempo di contatto, dimensione particellare e presenza di inibitori o componenti schermanti restano fattori decisivi.

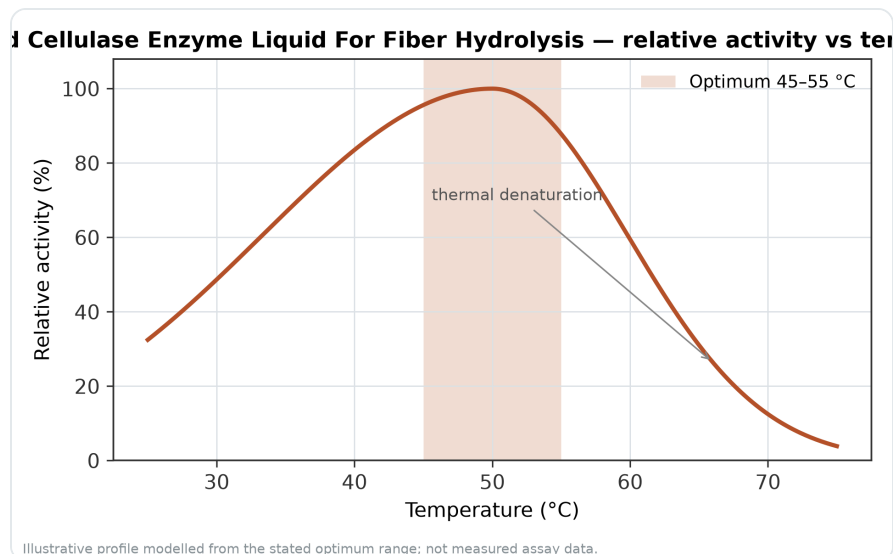


Figure 6. 온도에 따른 섬유 가수분해용 산성 셀룰라아제 효소 액상의 상대 활성으로, 45-55°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열 변성에 따른 특징적인 활성 감소가 나타납니다.

La cellulasi acida è quindi più correttamente descritta come un enzima specializzato per processi fibrosi in ambiente acido, non come una cellulasi universalmente migliore. In applicazioni dove il processo è neutro, alcalino o fortemente termico, la scelta dell'enzima dovrebbe essere coerente con la chimica della matrice e con il risultato desiderato.

Sinergia con altri enzimi della parete cellulare

La cellulosa è solo una parte della parete vegetale. Xylani, arabinoxylani, pectine, mannani, beta-glucani e lignina possono influenzare in modo decisivo l'accesso alla cellulosa. Per questo, in molte applicazioni, la cellulasi acida è più efficace quando lavora insieme ad altri enzimi mirati alla matrice specifica.

La relazione con xylanasi ed enzimi dell'emicellulosa è particolarmente importante. La produzione di xilo-oligosaccaridi tramite idrolisi enzimatica dello xylan mostra quanto la frazione emicellulosica possa essere valorizzata separatamente o resa più accessibile in processi alimentari e funzionali ^[2]. In una biomassa ricca di xylan, rimuovere o modificare questa frazione può migliorare l'accesso della cellulasi alla cellulosa.

Allo stesso modo, pectinasi e altri enzimi pectolitici possono essere rilevanti in frutta, bucce e polpe, dove la pectina contribuisce alla coesione della parete cellulare. La cellulasi agisce sulla componente cellulosica, ma la disgregazione della matrice può richiedere più bersagli enzimatici. Questo non riduce il ruolo della cellulasi: lo definisce meglio, evitando l'aspettativa che un singolo enzima risolva l'intera complessità della parete vegetale.

Benefici tecnici realistici

I benefici più realistici della cellulasi acida liquida derivano dalla modifica controllata della struttura fibrosa. In biomasse vegetali, può aumentare la disponibilità di frazioni idrolizzabili; in fibre alimentari, può migliorare idratazione, dispersione e funzionalità; in carta riciclata, può contribuire alla modifica superficiale della fibra; in estrazione vegetale, può facilitare il rilascio di composti intrappolati. Questi benefici sono coerenti con il ruolo più ampio dell'idrolisi enzimatica nella trasformazione di materie prime vegetali e residui ^[1].

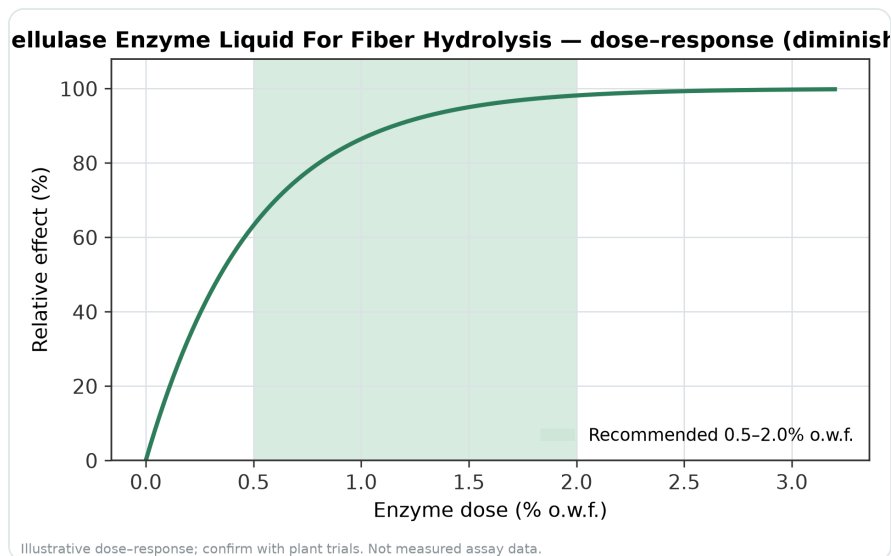


Figure 7. 권장 사용 범위(섬유 중량 대비 0.5~2.0%)에서 섬유 가수분해용 산성 셀룰라아제 효소 액상의 예시적 용량-반응 관계를 보여줍니다.

Un vantaggio importante rispetto ad alcuni trattamenti chimici aggressivi è la selettività. L'enzima agisce su specifici legami e può operare in condizioni più miti rispetto a molte conversioni chimiche. Questo può essere utile quando si vuole preservare una parte della struttura o mantenere un profilo funzionale dell'ingrediente. Le strategie avanzate di modifica delle fibre alimentari vegetali evidenziano proprio l'interesse verso tecniche capaci di modulare proprietà funzionali senza distruggere completamente il materiale [6].

Un altro beneficio è la compatibilità con processi di valorizzazione dei sottoprodotti. Residui agricoli, fibre annuali, polpe e scarti vegetali possono diventare fonti di ingredienti, materiali o intermedi se la loro struttura viene resa più accessibile. L'idrolisi enzimatica è una delle tecnologie considerate per trasformare flussi di rifiuto in prodotti industriali, ma il successo dipende dalla filiera e dalla qualità del substrato [4].

Limiti e considerazioni di processo

La cellulasi acida non deve essere descritta come un agente capace di degradare indistintamente ogni fibra. La sua azione primaria riguarda la cellulosa; se il problema principale è una frazione pectica, proteica, amidacea, lipidica o ligninica, altri enzimi o trattamenti possono essere più determinanti. Inoltre, la cellulosa cristallina e la cellulosa protetta da lignina possono essere molto meno accessibili rispetto a cellulosa amorfa o fibre già aperte meccanicamente.

Un secondo limite è il rischio di trattamento eccessivo. In fibre alimentari, troppa idrolisi può ridurre struttura, corpo o capacità di contribuire alla texture. Nei materiali cellulosici e nella carta, può indebolire la fibra. Nei processi di estrazione, può liberare componenti indesiderati oltre a quelli

ricercati. La logica applicativa è quindi sempre quella del controllo: modificare quanto basta per ottenere il beneficio tecnico, senza perdere la funzionalità desiderata.

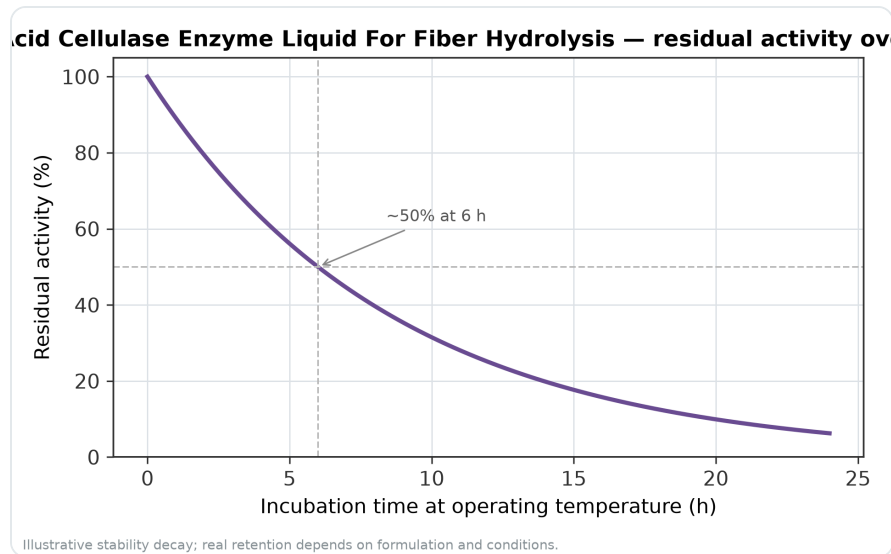


Figure 8. 섬유 가수분해용 산성 셀룰라아제 효소 액상의 예시적 열 안정성 감소를 보여주며, 작동 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소합니다.

Un terzo limite è la variabilità delle materie prime vegetali. Anche due lotti della stessa biomassa possono differire per maturazione, essiccazione, conservazione, granulometria o pretrattamento. Le evidenze su fibre vegetali trattate enzimaticamente mostrano che le proprietà fisico-chimiche sono sensibili al tipo di trattamento e alla natura della fibra ^[9]. Di conseguenza, l'interpretazione dei risultati deve sempre tenere conto della matrice specifica.

Posizionamento del prodotto Enzymes.bio

Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysis è destinata a impieghi professionali in cui serve una cellulasi acida liquida per lavorare su fibre vegetali, biomasse, polpe o ingredienti fibrosi. Enzymes.bio la rende disponibile online in unità da **1 kg**, con certificato di analisi e scheda di dati di sicurezza forniti insieme all'ordine; il ruolo di Enzymes.bio è quello di fornitore online, non di produttore né di laboratorio .

Il prodotto è particolarmente pertinente quando il processo richiede una preparazione liquida facilmente distribuibile in matrici umide o sospensioni. Le applicazioni più coerenti includono idrolisi controllata di fibre vegetali, modifica di ingredienti fibrosi, supporto alla valorizzazione di residui vegetali, trattamento di polpe e processi in cui la componente cellulosa limita accessibilità o lavorabilità.

In sintesi, una cellulasi acida liquida è uno strumento tecnico per trasformare la cellulosa da barriera strutturale a frazione più accessibile. Le evidenze disponibili supportano l'importanza dell'idrolisi enzimatica nella lavorazione di materie prime vegetali, fibre alimentari, materiali cellulosici e residui industriali; le prestazioni specifiche dipendono però dalla matrice, dal pretrattamento e dall'obiettivo di processo ^[1].

Ordina Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysis 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 Liquid For Fiber Hydrolysis →](#)

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. Boltovsky, V. S. (2021). Enzymatic hydrolysis of plant raw materials: state and prospects. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus Chemical Series*.
2. Chakraborty, M., & Bhowal, J. (2024). Prospects of Health Beneficial Functional Xylooligosaccharides Produced by Enzymatic Hydrolysis of Xylan and Application in Food Industry: A Comprehensive Review. *Food reviews international (Print)*, 41, 643 - 670.
3. Puton, B. M. S., Oro, C. E. D., Bernardi, J. L., Finkler, D. E., Venquiaruto, L., Dallago, R., & Tres, M. (2025). Sustainable Valorization of Plant Residues Through Enzymatic Hydrolysis for the Extraction of Bioactive Compounds: Applications as Functional Ingredients in Cosmetics. *Processes*.
4. Szopa, D., Skrzypczak, D., Izydorczyk, G., Chojnacka, K., Moustakas, K., & Witek-Krowiak, A. (2023). Waste Valorization towards Industrial Products through Chemo- and Enzymatic- Hydrolysis. *Bioengineered*, 14.
5. Marczak, A., & Mendes, A. C. (2024). Dietary Fibers: Shaping Textural and Functional Properties of Processed Meats and Plant-Based Meat Alternatives. *Foods*, 13.
6. Zhao, Y., Shao, Y., Fan, S., Bai, J., Zhu, L., Zhu, Y., & Xiao, X. (2025). Advanced Modification Strategies of Plant-Sourced Dietary Fibers and Their Applications in Functional Foods. *Foods*, 14.
7. Hartono, A. (2025). Enzymatic Biotechnology in Modifying the Functional Properties of Plant Proteins. *Journal of Food and Agricultural Product*.
8. Aguado, R., Tarrés, Q., Pelach, M., Mutjé, P., Fuente, E., Sánchez-Salvador, J., Negro, C., ... et al. (2022). Micro- and Nanofibrillated Cellulose from Annual Plant-Sourced Fibers: Comparison between Enzymatic Hydrolysis and

Mechanical Refining. *Nanomaterials*, 12.

9. Eyupoglu, S., Eyupoglu, C., & Merdan, N. (2024). Investigation of the effect of enzymatic and alkali treatments on the physico-chemical properties of Sambucus ebulus l. plant fiber. *International Journal of Biological Macromolecules*, 130968 .
10. Solving The Problems Of Recycled Fiber Processing With Enzymes. *Ncsu*.

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.