

Cellulase Enzyme CAS 9012-54-8 per produzione di bioetanolo: saccarificazione della cellulosa, biomasse lignocellulosiche e fermentazione SSF

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

Cellulase Enzyme For Bioethanol Production CAS 9012-54-8 è una preparazione enzimatica usata per idrolizzare la cellulosa presente in biomasse vegetali e residui lignocellulosici, generando zuccheri fermentescibili utili alla produzione di bioetanolo. Nel bioetanolo di seconda generazione, la cellulasi è rilevante perché trasforma una frazione strutturale non direttamente fermentabile — la cellulosa — in substrati più accessibili per lieviti o altri microrganismi fermentativi. Enzymes.bio rende disponibile il prodotto online in unità da **1 kg**; CoA e SDS sono forniti insieme all'ordine .

Che cos'è la cellulasi per bioetanolo CAS 9012-54-8

La cellulasi non è, in genere, una singola attività enzimatica isolata: nel contesto della bioconversione della biomassa indica un insieme di enzimi capaci di scindere i legami β -1,4-glicosidici della cellulosa, il polisaccaride lineare di glucosio che forma una parte essenziale della parete cellulare vegetale. La sua funzione industriale nella produzione di bioetanolo è la **saccarificazione enzimatica**, cioè la conversione della frazione cellulosica in zuccheri più piccoli, inclusi cellobiosio, cellodestrine e glucosio, che possono alimentare una successiva fermentazione ^[1].

La denominazione **CAS 9012-54-8** identifica la cellulasi come categoria enzimatica, mentre l'applicazione "for bioethanol production" descrive l'uso previsto: trattamento di biomasse contenenti cellulosa, in particolare residui agricoli, scarti agroindustriali, sottoprodotti fibrosi e altre materie prime lignocellulosiche. Le review recenti sulla produzione di bioetanolo da residui agricoli descrivono una filiera tipica basata su preparazione della biomassa, pretrattamento, idrolisi enzimatica, fermentazione e recupero dell'etanolo ^[2].

Enzymes.bio opera come **fornitore online**, non come produttore né come laboratorio di analisi. Il prodotto è venduto direttamente online in confezioni da **1 kg**; la documentazione CoA e SDS accompagna l'ordine, così che l'utilizzatore disponga delle informazioni di lotto e di sicurezza fornite

con il prodotto acquistato .

Perché la cellulasi è centrale nel bioetanolo di seconda generazione

Il bioetanolo di prima generazione sfrutta materie prime zuccherine o amidacee, nelle quali i carboidrati sono relativamente accessibili. Il bioetanolo di seconda generazione, invece, usa biomasse lignocellulosiche: materiali nei quali cellulosa, emicellulosa e lignina sono organizzate in una matrice resistente, evoluta per sostenere la pianta e resistere alla degradazione biologica. Per questo la conversione richiede un passaggio enzimatico o combinato capace di rendere disponibili gli zuccheri strutturali ^[3].

La cellulasi interviene nella fase in cui il potenziale zuccherino della biomassa deve essere reso fermentabile. Senza idrolisi, la cellulosa resta prevalentemente insolubile e non utilizzabile dalla maggior parte dei microrganismi impiegati nei processi convenzionali di fermentazione etanolica. Le review sui residui agroindustriali sottolineano infatti che il rendimento globale del processo dipende non solo dalla fermentazione, ma anche dall'efficienza con cui il pretrattamento e l'idrolisi enzimatica liberano zuccheri fermentescibili ^[4].

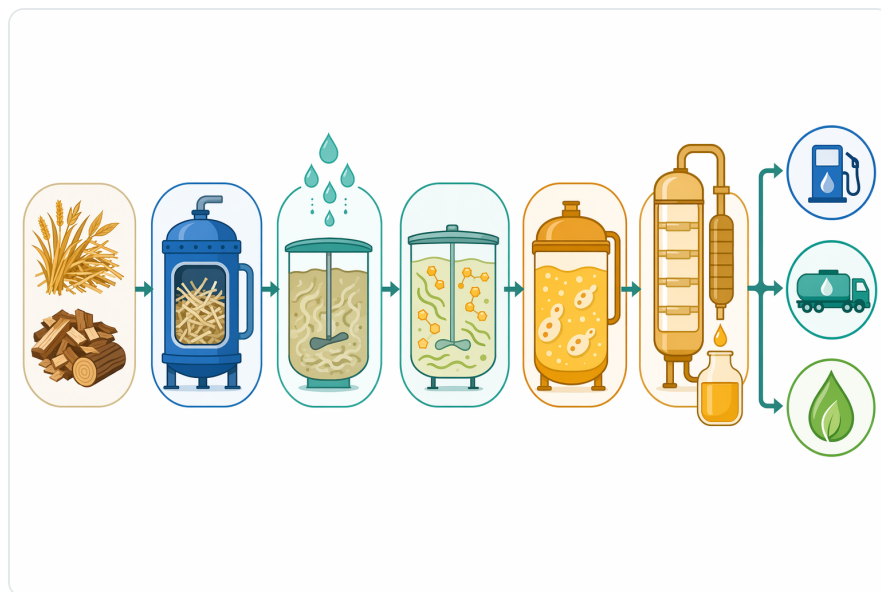


Figure 1. 셀룰라아제는 바이오매스 전처리와 발효 사이에서 작용하며, 접근 가능한 셀룰로스를 발효 가능한 당으로 전환합니다.

Il valore pratico della cellulasi è quindi duplice: da un lato aumenta l'accessibilità del carbonio contenuto in residui vegetali, dall'altro consente di orientare scarti a basso valore verso una filiera energetica o bio-based. Le biomasse considerate in letteratura includono residui agricoli, scarti di frutta, rifiuti cartacei, sottoprodotti lignocellulosici e biomasse non convenzionali; tuttavia, la qualità della conversione varia molto in funzione della composizione e del pretrattamento ^[5].

Meccanismo d'azione: come la cellulasi rompe la cellulosa

La cellulosa è formata da catene di glucosio unite da legami β -1,4. Queste catene si associano mediante legami a idrogeno, generando microfibrille con regioni cristalline e amorfe. Le regioni cristalline sono più ordinate e meno accessibili, mentre quelle amorfe risultano più esposte all'attacco enzimatico. Una cellulasi efficace deve quindi agire su un substrato eterogeneo, insolubile e spesso fisicamente protetto da lignina ed emicellulosa ^[1].

Nel modello classico, tre gruppi di attività cooperano. Le **endoglucanasi** tagliano internamente le catene di cellulosa, creando nuove estremità; le **cellobioidrolasi** o esoglucanasi procedono dalle estremità liberando soprattutto cellobiosio; le **β -glucosidasi** convertono il cellobiosio e piccoli oligosaccaridi in glucosio. Questa cooperazione riduce l'inibizione da intermedi e rende la degradazione più progressiva rispetto all'azione di una singola attività ^[6].

Il meccanismo non è soltanto chimico, ma anche fisico. L'enzima deve adsorbirsi alla superficie del substrato, orientare correttamente la catena glucanica nel sito attivo, catalizzare l'idrolisi del legame glicosidico e poi desorbirsi o progredire lungo la fibra. Se la lignina occupa la superficie o adsorbe l'enzima in modo non produttivo, una parte della cellulasi resta legata senza contribuire alla produzione di zuccheri, riducendo l'efficienza complessiva ^[7].

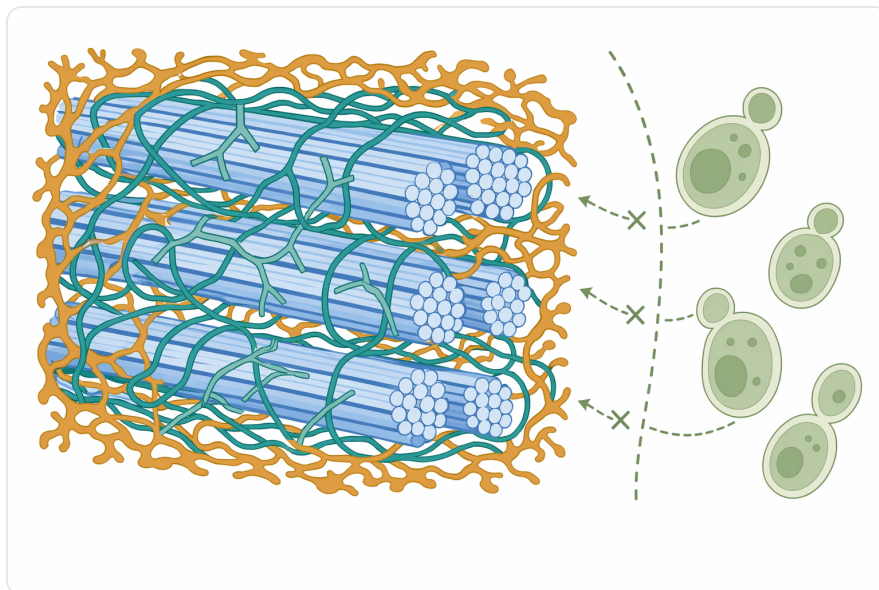


Figure 2. 셀룰로스는 포도당 단위가 헤미셀룰로스 and 리그닌으로 보호된 불용성 미세섬유 안에 갇혀 있어 직접 발효하기 어렵습니다.

Dalla biomassa all’etanolo: dove si colloca la cellulasi nel processo

In una filiera lignocellulosica, la cellulasi opera dopo la preparazione meccanica e, nella maggior parte dei casi, dopo un pretrattamento. La preparazione riduce la dimensione del materiale e ne migliora la manipolabilità; il pretrattamento altera la struttura della parete vegetale, aumentando l’accessibilità della cellulosa. Solo a questo punto l’idrolisi enzimatica può convertire una quota significativa della frazione cellulosica in zuccheri fermentescibili ^[8].

La fermentazione può essere organizzata in modo separato o integrato. Nella configurazione con idrolisi e fermentazione separate, prima si produce un idrolizzato zuccherino e poi lo si fermenta. Nella **saccarificazione e fermentazione simultanea**, spesso indicata come **SSF**, enzima e microrganismo fermentativo operano nello stesso sistema: gli zuccheri liberati vengono consumati mentre si formano, riducendo l’accumulo di intermedi, ma richiedendo compatibilità tra condizioni enzimatiche e condizioni fermentative ^[9].

Configurazione di processo	Ruolo della cellulasi	Vantaggio tecnico principale	Limite pratico principale
Idrolisi enzimatica separata dalla fermentazione	Converte la cellulosa in zuccheri prima dell’inoculo fermentativo	Permette di gestire l’idrolisi come fase dedicata	Gli zuccheri e gli intermedi possono accumularsi e influenzare la cinetica
SSF — saccarificazione e fermentazione simultanea	Libera zuccheri mentre il microrganismo li consuma	Può ridurre l’accumulo di zuccheri intermedi e semplificare l’integrazione	Richiede un compromesso tra condizioni favorevoli all’enzima e al microrganismo
Sistemi con enzimi accessori	La cellulasi agisce insieme ad attività come xilanasi o β -glucosidasi	Migliora l’attacco a matrici ricche di emicellulosa o con forte recalcitranza	La composizione enzimatica deve essere coerente con la biomassa

La scelta della configurazione non dipende dalla cellulasi da sola. Materia prima, severità del pretrattamento, frazione di lignina residua, viscosità della sospensione, presenza di inibitori e microrganismo fermentativo determinano se convenga separare le fasi o integrarle. Le review sui parametri di processo evidenziano che la sostenibilità del bioetanolo dipende dall’ottimizzazione combinata di pretrattamento, idrolisi e fermentazione, non da un singolo passaggio isolato ^[10].

Biomasse lignocellulosiche: perché non rispondono tutte allo stesso modo

Le biomasse vegetali non sono intercambiabili. Paglia, bagassa, residui di frutta, stocchi, scarti cartacei e sottoprodotti fibrosi possono contenere cellulosa accessibile in misura diversa. Anche quando la cellulosa è abbondante, l'emicellulosa può avvolgere le microfibrille e la lignina può creare una barriera idrofobica, limitando l'accesso dell'enzima. Per questo la stessa cellulasi può produrre risultati differenti su due matrici apparentemente simili [2].

I residui agricoli sono particolarmente studiati perché disponibili in grandi flussi stagionali e perché non richiedono l'uso diretto di materie prime alimentari zuccherine. La letteratura recente li considera una risorsa importante per la valorizzazione dei rifiuti lignocellulosici, ma segnala anche la necessità di integrare pretrattamento, saccharificazione e fermentazione per superare la recalcitranza naturale della parete vegetale [11].

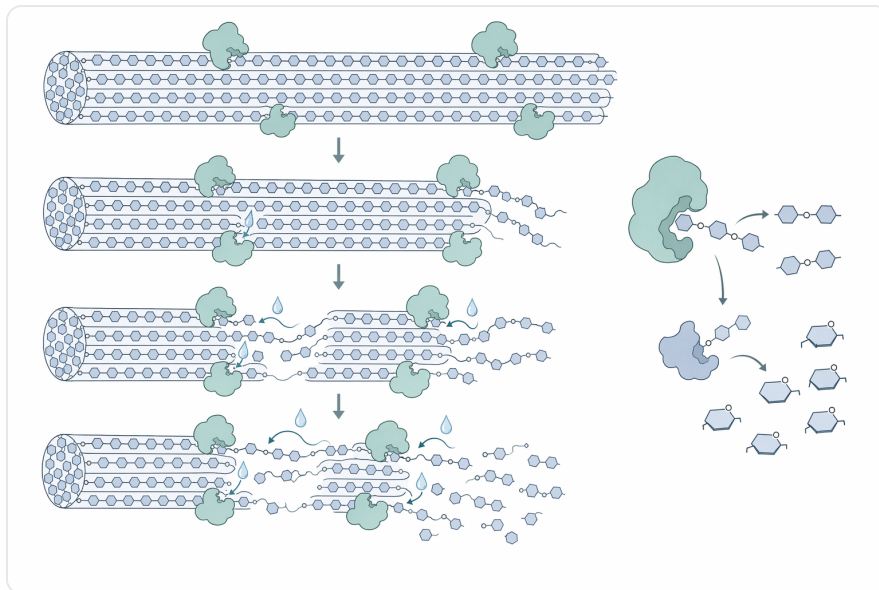


Figure 3. 엔도글루카나아제, 셀로비오하이드롤라아제, β -글루코시다아제가 순차적으로 작용하여 셀룰로스 사슬을 셀로비오스와 포도당으로 전환합니다.

Gli scarti di frutta presentano un profilo diverso: possono contenere zuccheri semplici, pectine, cellulosa ed emicellulosa in proporzioni variabili. In questi casi la cellulasi può contribuire alla degradazione della frazione strutturale, ma il processo può richiedere una lettura più ampia della matrice, perché non tutta la frazione fermentabile deriva dalla cellulosa. Le review sugli scarti di frutta evidenziano il loro potenziale per bioetanolo, ma anche la variabilità legata alla specie, alla stagionalità e al contenuto di umidità [5].

I rifiuti cartacei rappresentano un caso particolare: derivano da fibre cellulosiche già lavorate industrialmente e possono risultare interessanti per la produzione di bioetanolo. Tuttavia, la presenza di additivi, inchiostri, cariche minerali o rivestimenti può interferire con la conversione. Studi su rifiuti cartacei hanno valutato combinazioni di cellulasi e cellobiasi in processi di saccarificazione e fermentazione simultanea, confermando l'interesse del substrato ma anche la necessità di adattare il processo al materiale reale ^[12].

Pretrattamento: il passaggio che rende la cellulosa più accessibile

Il pretrattamento è spesso il fattore che decide se la cellulasi potrà lavorare in modo efficiente. La biomassa lignocellulosica è progettata biologicamente per resistere alla degradazione: la lignina conferisce rigidità e protezione, l'emicellulosa connette componenti della parete, la cellulosa cristallina oppone resistenza all'idrolisi. Il pretrattamento mira a rompere o indebolire questa architettura, aumentando la superficie accessibile e riducendo le barriere fisiche ^[13].

I metodi fisici, termici e chimici possono avere effetti diversi: alcuni riducono la dimensione delle particelle, altri solubilizzano parte dell'emicellulosa, altri ancora modificano o rimuovono parzialmente la lignina. Nessun approccio è universalmente migliore, perché un trattamento troppo blando può lasciare la cellulosa inaccessibile, mentre un trattamento troppo severo può generare composti inibitori per enzimi o microrganismi fermentativi ^[8].

La sostenibilità del pretrattamento è un tema centrale. Una review critica sui metodi di pretrattamento per lignocellulosa sottolinea che l'efficienza di conversione deve essere valutata insieme a consumo di energia, uso di sostanze chimiche, formazione di sottoprodotti e impatto ambientale. In altre parole, una cellulasi efficace deve essere inserita in un processo che non sposti semplicemente il problema dalla resa alla sostenibilità ^[7].

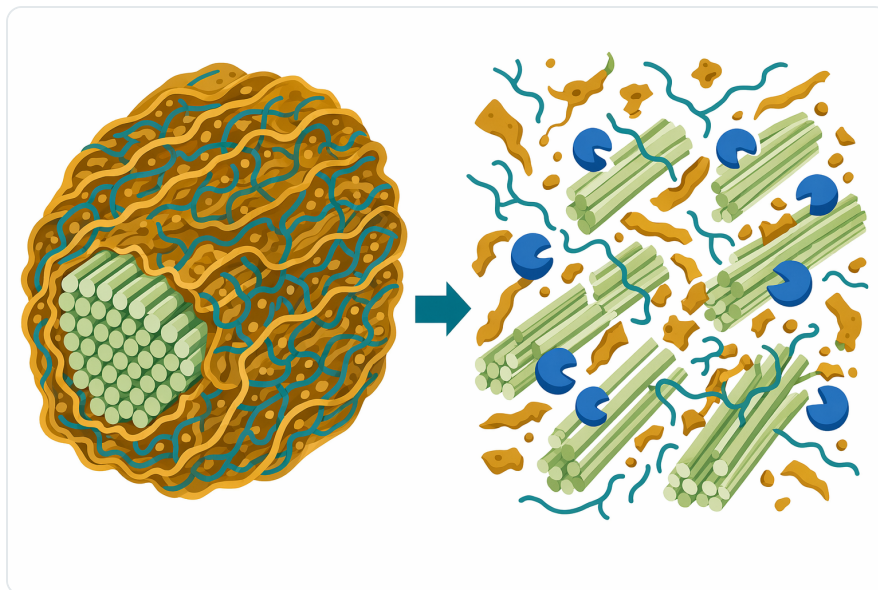


Figure 4. 전처리는 리그노셀룰로스 구조를 열어 더 많은 셀룰로스 표면이 셀룰라아제에 노출되도록 함으로써 당화를 개선합니다.

Sinergia con enzimi accessori: quando la sola cellulasi non basta

La cellulasi attacca la cellulosa, ma molte biomasse contengono quantità significative di emicellulosa. Se lo xilano o altri polisaccaridi emicellulosici limitano l'accesso alla cellulosa, attività accessorie come xilanasi, mannanasi o arabinofuranosidasi possono contribuire ad aprire la matrice. L'obiettivo non è sostituire la cellulasi, ma rimuovere ostacoli strutturali e liberare ulteriori zuccheri fermentabili o co-fermentabili [14].

La β -glucosidasi è particolarmente importante perché completa la conversione del cellobiosio in glucosio. Se il cellobiosio si accumula, può ridurre la velocità delle attività a monte, limitando l'idrolisi. Per questo molti sistemi enzimatici per biomassa sono formulati come cocktail cellulolitici, nei quali l'equilibrio tra endoglucanasi, cellobioidrolasi e β -glucosidasi incide sulla resa zuccherina complessiva [6].

Le tecnologie recenti per bioetanolo di seconda generazione guardano anche a trasportatori di zuccheri e microrganismi in grado di usare miscele di zuccheri più complesse. La cellulasi libera soprattutto glucosio dalla cellulosa, ma la biomassa contiene anche pentosi e altri carboidrati derivati dall'emicellulosa. Le ricerche sui trasportatori fungini mostrano l'interesse verso un utilizzo più completo degli zuccheri lignocellulosici, che resta una delle sfide per aumentare l'efficienza del processo [15].

Fermentazione: collegare zuccheri liberati e produzione di etanolo

Dopo l'idrolisi, gli zuccheri devono essere convertiti in etanolo. *Saccharomyces cerevisiae* è uno dei microrganismi più discussi per la fermentazione etanolica, grazie alla sua robustezza e al suo uso consolidato in processi industriali; tuttavia, la fermentazione di idrolizzati lignocellulosici può essere più difficile rispetto a substrati zuccherini semplici, perché gli idrolizzati possono contenere inibitori e miscele di zuccheri [16].



Figure 5. 일반적인 전처리 경로는 셀룰라아제가 셀룰로스에 접근하기 쉽게 만드는 방식과 그 과정에서 발생하는 공정상 절충점이 서로 다릅니다.

La relazione tra cellulasi e fermentazione è particolarmente stretta nella SSF. Se l'enzima libera zuccheri più rapidamente di quanto il microrganismo riesca a consumarli, si possono accumulare intermedi; se il microrganismo produce etanolo rapidamente, l'ambiente cambia e può influenzare la stabilità enzimatica. Le review sulle tecnologie recenti per bioetanolo di seconda generazione trattano infatti la SSF come un compromesso tra cinetica enzimatica e fisiologia microbica [9].

L'etanolo stesso può diventare un fattore di stress. Studi e review su enzimi immobilizzati o ingegnerizzati considerano stabilità, riutilizzo e compatibilità con il processo come temi importanti, perché un enzima che funziona bene su cellulosa pura può comportarsi diversamente in un brodo fermentativo contenente etanolo, solidi residui, lignina e composti derivati dal pretrattamento [17].

Applicazioni documentate: residui agricoli, scarti agroindustriali e carta

La bagassa di canna da zucchero è una delle materie prime più citate per il bioetanolo lignocellulosico. È un residuo fibroso generato dopo l'estrazione del succo e contiene una matrice in cui cellulosa, emicellulosa e lignina richiedono una combinazione di pretrattamento e idrolisi. Le review sui residui agricoli la includono tra i substrati di interesse per la valorizzazione energetica e la produzione di etanolo di seconda generazione [2].

La paglia di cereali e gli stocchi di mais sono altre biomasse ricorrenti. La loro abbondanza li rende interessanti, ma la recalcitranza strutturale richiede strategie di apertura della matrice. Le rassegne sui pretrattamenti mostrano che la digeribilità enzimatica dipende dal modo in cui la parete vegetale viene modificata prima dell'aggiunta della cellulasi, più che dalla sola presenza di cellulosa nella biomassa [13].

Gli scarti agroalimentari e i residui di frutta ampliano il campo applicativo. La loro composizione può includere frazioni già fermentabili e frazioni strutturali, perciò la cellulasi può avere un ruolo diverso a seconda del materiale: in alcuni casi aumenta il rilascio di zuccheri dalla parete vegetale, in altri si integra con attività pectolitiche o emicellulolitiche. Le review più recenti trattano questi scarti come risorse promettenti ma molto variabili [5].

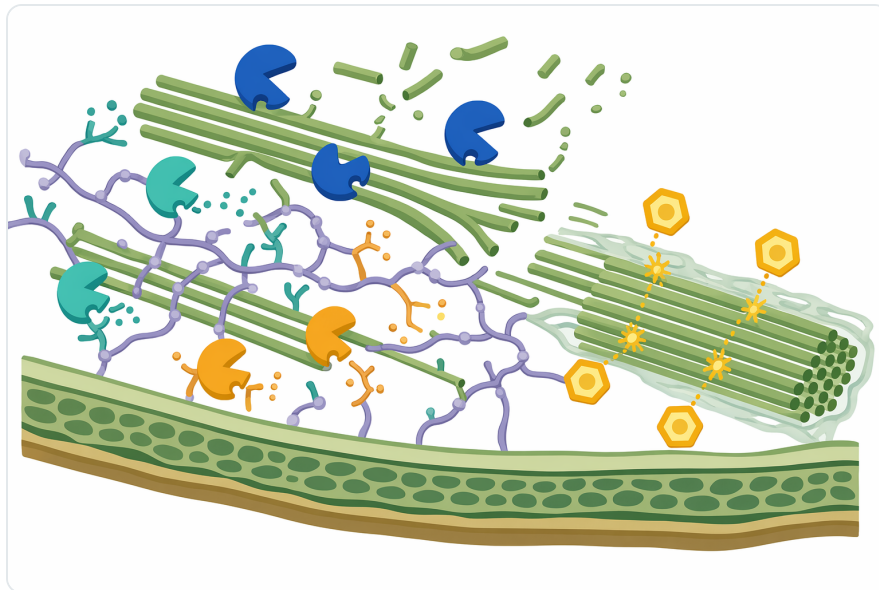


Figure 6. 보조 효소는 헤미셀룰로스 네트워크를 느슨하게 하고 분해가 어려운 셀룰로스 영역을 극복하는 데 도움을 주어 셀룰라아제의 효과를 높일 수 있습니다.

I rifiuti cartacei sono un esempio di substrato ricco di fibre cellulosiche già separate dalla biomassa originaria. La conversione a bioetanolo è stata studiata mediante combinazioni enzimatiche e SSF, con attenzione alla trasformazione della cellulosa in zuccheri e alla successiva fermentazione. Questo conferma che la cellulasi può essere utile anche fuori dal classico perimetro agricolo, purché il materiale sia compatibile con la conversione biologica ^[12].

Vantaggi tecnici attesi dall'uso della cellulasi

Il primo vantaggio è l'aumento della disponibilità di zuccheri fermentescibili a partire da una frazione della biomassa che, senza enzimi, resterebbe scarsamente utilizzabile. L'idrolisi della cellulosa rende accessibile glucosio da un polimero insolubile, creando un ponte tra residuo lignocellulosico e fermentazione etanolica. Questo è il motivo per cui le cellulasi sono considerate un componente chiave nella filiera del bioetanolo da lignocellulosa ^[3].

Il secondo vantaggio è la possibilità di lavorare in condizioni generalmente più selettive rispetto a un'idrolisi puramente chimica severa. Gli enzimi agiscono su legami specifici e possono ridurre la necessità di trattamenti estremi nella fase di saccarificazione, anche se non eliminano il bisogno di pretrattare biomasse recalcitranti. Le review sui processi sostenibili evidenziano proprio l'importanza di bilanciare efficienza, consumo energetico e impatti ambientali ^[10].

Il terzo vantaggio è la flessibilità di integrazione. La cellulasi può essere impiegata in idrolisi separata, SSF o strategie combinate con enzimi accessori; può essere valutata su biomasse agricole, scarti di processo e materiali cellulosici secondari. Questa flessibilità non significa universalità: significa che il ruolo della cellulasi va adattato alla matrice, alla configurazione del processo e al microrganismo fermentativo ^[9].

Limiti tecnici e aspettative realistiche

La cellulasi non trasforma automaticamente qualsiasi residuo vegetale in bioetanolo ad alta resa. Se la lignina è elevata o poco modificata, l'enzima può non raggiungere la cellulosa; se il pretrattamento genera inibitori, la fermentazione può essere rallentata; se la β -glucosidasi è insufficiente nel sistema enzimatico, il cellobiosio può accumularsi. Il risultato dipende quindi da una catena di fattori, non dalla sola aggiunta dell'enzima ^[7].



Figure 7. 셀룰라아제를 이용한 당화는 짚, 목초류, 농작물 부산물, 침입성 바이오피름, 과일 또는 채소 착즙박과 같은 잔류물에 적용될 수 있습니다.

La variabilità della biomassa è un limite concreto. Anche due lotti dello stesso residuo possono differire per umidità, maturazione, contenuto di ceneri, frazione lignificata e storia di stoccaggio. Questa variabilità influenza la penetrazione dell'acqua, l'accessibilità dell'enzima e la formazione di zuccheri. Le rassegne sui residui agroindustriali insistono sulla necessità di considerare la materia prima come un sistema complesso, non come cellulosa pura ^[4].

Un altro limite riguarda la compatibilità con la fermentazione. Nelle configurazioni integrate, l'enzima deve mantenere attività in un ambiente che cambia progressivamente: gli zuccheri vengono consumati, l'etanolo aumenta, il pH può variare e i solidi residui possono interferire con il trasferimento di massa. Per questo le tecnologie più recenti includono anche studi su immobilizzazione, stabilità enzimatica e miglioramento dei sistemi biologici ^[17].

Indicazioni generali d'uso nel contesto applicativo

L'uso della cellulasi per bioetanolo inizia dalla caratterizzazione pratica della biomassa da trattare: non in senso analitico di laboratorio, ma come comprensione del tipo di materiale, della sua origine e del ruolo previsto nel processo. Una biomassa ricca di fibre, poco pretrattata e lignificata richiederà una strategia diversa rispetto a un materiale cartaceo o a uno scarto vegetale più facilmente degradabile ^[8].

La fase di idrolisi deve favorire il contatto tra enzima e substrato. Miscelazione, idratazione della biomassa, accessibilità delle superfici e controllo dell'ambiente di processo incidono sulla velocità di saccarificazione. È importante evitare una lettura semplicistica: aggiungere più enzima non risolve

necessariamente problemi di lignina, inibitori o trasferimento di massa; spesso è l'interazione tra pretrattamento e idrolisi a determinare il risultato [13].

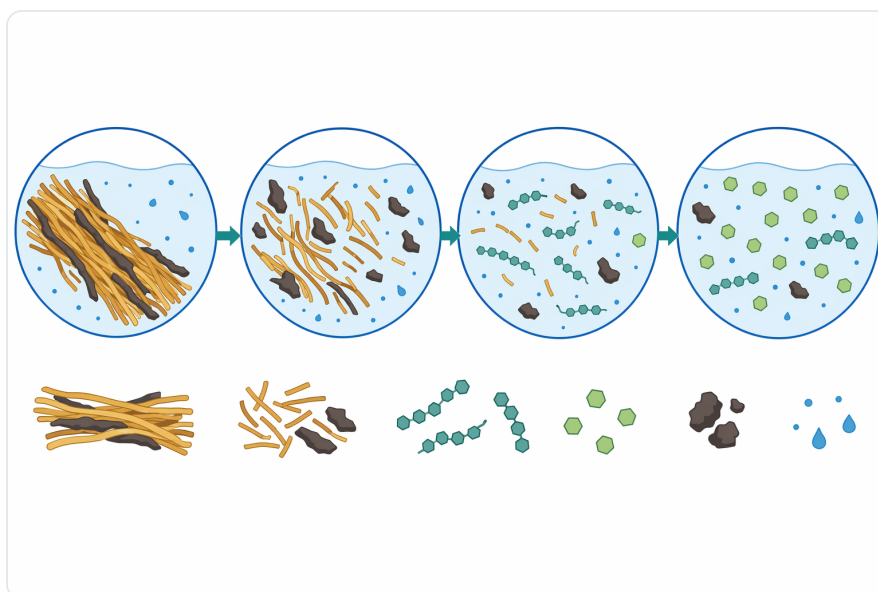


Figure 8. 셀룰라아제 가수분해 동안 탄수화물은 불용성 섬유에서 액상 내의 수용성 올리고당, 셀로비오스, 포도당으로 전환됩니다.

Quando l'obiettivo è la SSF, la cellulasi deve essere considerata insieme al microrganismo fermentativo. Le condizioni devono permettere all'enzima di liberare zuccheri e al microrganismo di convertirli in etanolo senza che una fase comprometta l'altra. La letteratura sul bioetanolo di seconda generazione descrive questa integrazione come una delle vie più studiate per rendere più efficiente la conversione lignocellulosica [9].

Cellulase Enzyme For Bioethanol Production su Enzymes.bio

Cellulase Enzyme For Bioethanol Production CAS 9012-54-8 è destinata a utilizzatori che lavorano sulla saccarificazione di biomasse contenenti cellulosa nell'ambito di processi per bioetanolo. La funzione tecnica principale è supportare l'idrolisi della frazione cellulosica, generando zuccheri fermentescibili che possono essere integrati in una fase di fermentazione separata o simultanea .

Enzymes.bio fornisce il prodotto online in unità da **1 kg** e non si presenta come produttore né come laboratorio. CoA e SDS sono forniti insieme all'ordine, in linea con la gestione documentale del prodotto acquistato. Le informazioni tecniche qui riportate hanno finalità educativa e applicativa generale: aiutano a comprendere il ruolo della cellulasi nel bioetanolo, senza sostituire la valutazione di processo dell'utilizzatore .

In sintesi, la cellulasi CAS 9012-54-8 è uno strumento chiave per collegare biomassa lignocellulosica e fermentazione etanolica. La sua efficacia dipende da accessibilità della cellulosa, pretrattamento, presenza di lignina ed emicellulosa, eventuali enzimi accessori e configurazione di fermentazione. Integrata correttamente, può contribuire alla valorizzazione di residui agricoli, scarti agroindustriali e materiali cellulosici nel quadro del bioetanolo di seconda generazione ^[3].

Ordina Cellulase Enzyme For Bioethanol Production Cas 9012-54-8 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 Cellulase Enzyme For Bioethanol Production Cas 9012-54-8 →](#)

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. Maravi, P., & Kumar, A. (2021). Cellulase: Distribution, Production, Characterization and Industrial Applications. *Biotechnology Journal International*.
2. Jayakumar, M., Gindaba, G. T., Gebeyehu, K. B., Periyasamy, S., Jabesa, A., Baskar, G., John, B. I., ... et al. (2023). Bioethanol production from agricultural residues as lignocellulosic biomass feedstock's waste valorization approach: A comprehensive review. *Science of the Total Environment*, 163158 .
3. Niu, Y., Joseph, N., Hemashini, T., & Leh, C. (2024). Valorization of lignocellulosic biomass: Progress in the production of second-generation bioethanol. *Renewable Energies*, 2.
4. Samantaray, B., Mohapatra, S., Mishra, R., Behera, B., & Thatoi, H. (2023). Bioethanol production from agro-wastes: a comprehensive review with a focus on pretreatment, enzymatic hydrolysis, and fermentation. *International Journal of Green Energy*, 21, 1398 - 1424.
5. Mgeni, S. T., Mero, H. R., Mtashobya, L., & Emmanuel, J. (2024). The prospect of fruit wastes in bioethanol production: A review. *Heliyon*, 10.
6. Singh, A., Bajar, S., Devi, A., & Pant, D. (2021). An overview on the recent developments in fungal cellulase production and their industrial applications. *Bioresource Technology Reports*, 14, 100652.
7. David, A. J., Abinandan, S., Vaidyanathan, V., Xu, C., & Krishnamurthi, T. (2023). A critical review on current status and environmental sustainability of pre-treatment methods for bioethanol production from lignocellulose feedstocks. 3 *Biotech*, 13.

8. Woźniak, A., Kuligowski, K., Świerczek, L., & Cenian, A. (2025). Review of Lignocellulosic Biomass Pretreatment Using Physical, Thermal and Chemical Methods for Higher Yields in Bioethanol Production. *Sustainability*.
9. Abd, A. N., Shakor, Z., Al-Zuhairi, F., & Al-Sheikh, F. (2024). Recent technologies in second-generation bioethanol production from biomass: A review. *International Journal of Green Energy*, 22, 1383 - 1401.
10. Minal, P. D. (2025). Review on optimised process parameters of bioethanol production for environmental sustainability. *Materials Research Proceedings*.
11. Hamdi, G. M. H., Abbas, M. N., & Ali, S. A. K. (2024). BIOETHANOL PRODUCTION FROM AGRICULTURAL WASTE: A REVIEW. *Journal of Engineering and Sustainable Development*.
12. Darmawan, M. A., Hermawan, Y. A., Samsuri, M., & Gozan, M. (2019). Conversion of paper waste to bioethanol using selected enzyme combination (cellulase and cellobiase) through simultaneous saccharification and fermentation.
13. Pendse, D. S., Deshmukh, M., & Pande, A. (2023). Different pre-treatments and kinetic models for bioethanol production from lignocellulosic biomass: A review. *Heliyon*, 9.
14. Budhraj, A. A., & Roy, R. (2024). ADVANCEMENTS IN CELLULASE ENZYME TECHNOLOGY: APPLICATIONS, CHALLENGES, AND FUTURE PERSPECTIVES. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*.
15. Pereira, L. M. S., Taveira, I. C., Maués, D. B., Paula, R. G., & Silva, R. N. (2025). Advances in fungal sugar transporters: unlocking the potential of second-generation bioethanol production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 109.
16. Elhalis, H. (2024). Expanding the Horizons of Saccharomyces cerevisiae: Nutrition, Oenology, and Bioethanol Production. *Sustainability*.
17. Araújo, B. M. C., Costa, I. O., Brito, H. G., Rios, N. S., & Santos, E. S. (2023). Enzyme technology in bioethanol production from lignocellulosic biomass: Recent trends with a focus on immobilized enzymes. *BioResources*.

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.