

Celulaza CAS 9012-54-8 do produkcji bioetanolu z biomasy lignocelulozowej

Zespół badawczy Enzymes.bio · Wellington, Nowa Zelandia · June 19, 2026

Celulaza CAS 9012-54-8 jest enzymem stosowanym w produkcji bioetanolu do hydrolizy celulozy z biomasy lignocelulozowej do cukrów fermentowalnych. Nie wytwarza etanolu bezpośrednio — przygotowuje glukozę i krótsze produkty hydrolizy, które następnie mogą być fermentowane przez mikroorganizmy, np. drożdże. W praktyce jej skuteczność zależy od rodzaju biomasy, obróbki wstępnej, obecności ligniny, składu koktajlu enzymatycznego i konfiguracji procesu.

Czym jest Cellulase Enzyme For Bioethanol Production CAS 9012-54-8?

Cellulase Enzyme For Bioethanol Production CAS 9012-54-8 to preparat enzymatyczny oparty na celulazie, przeznaczony do wspierania enzymatycznej sacharyfikacji celulozy w procesach bioetanolowych. W technologiach drugiej generacji jego głównym zadaniem jest rozkład frakcji celulozowej biomasy roślinnej — słomy, bagassy, traw energetycznych, łusek, odpadów drzewnych lub innych pozostałości agroprzemysłowych — do cukrów, które mogą wejść do fermentacji etanolowej ^[1].

Celulaza nie jest pojedynczą reakcją „zamieniającą biomasę w alkohol”. Jest elementem etapu hydrolizy: rozcina wiązania β -1,4-glikozydowe w celulozie, zmniejsza długość łańcuchów polisacharydowych i zwiększa udział cukrów rozpuszczalnych. Dopiero kolejny etap, prowadzony przez organizmy fermentacyjne, przekształca fermentowalne cukry w etanol i dwutlenek węgla ^[2].

Enzymes.bio dostarcza ten produkt jako dostawca B2B, nie jako producent ani laboratorium badawcze. Produkt jest sprzedawany bezpośrednio online w jednostkach 1 kg, a dokumenty CoA i SDS są dostarczane wraz z zamówieniem. Informacje w tym dokumencie należy traktować jako techniczne tło zastosowania enzymu w procesach bioetanolowych, a nie jako gwarancję określonej wydajności dla dowolnego surowca.

Dlaczego celulaza jest kluczowa w bioetanolu drugiej generacji?

Bioetanol pierwszej generacji korzysta zwykle z surowców łatwiej dostępnych metabolicznie, takich jak cukry lub skrobia. Bioetanol drugiej generacji wykorzystuje natomiast lignocelulozę — materiał strukturalny roślin, który nie jest bezpośrednio fermentowalny przez typowe mikroorganizmy etanolowe. Przeglądy dotyczące waloryzacji biomasy wskazują, że przejście od surowców żywnościowych do pozostałości lignocelulozowych jest jednym z głównych powodów rozwoju technologii enzymatycznej hydrolizy [1].

Problem technologiczny wynika z architektury ściany komórkowej. Celuloza tworzy uporządkowane włókna, hemiceluloza wypełnia i wiąże strukturę, a lignina działa jak hydrofobowa, nieregularna bariera utrudniająca dostęp enzymów. W takiej matrycy sama obecność dużej ilości celulozy nie oznacza jeszcze wysokiej dostępności substratu dla celulazy; enzym musi mieć fizyczny kontakt z powierzchnią polisacharydu [3].

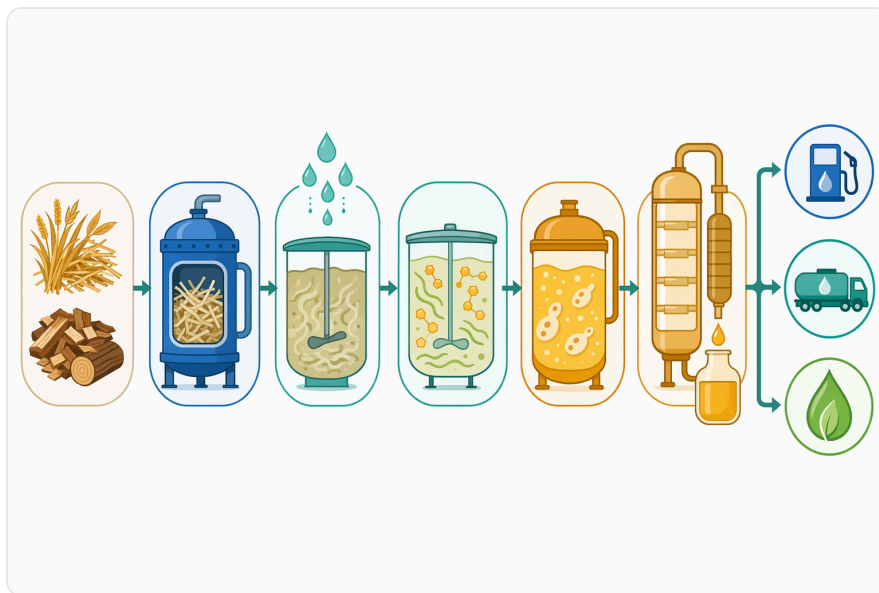


Figure 1. 셀룰라아제는 바이오매스 전처리와 발효 사이에서 작용하며, 접근 가능한 셀룰로오스를 발효 가능한 당으로 전환한다.

Z tego powodu celulaza jest najbardziej użyteczna jako część kompletnego układu: obróbka wstępna biomasy zwiększa dostępność celulozy, koktajl enzymatyczny rozkłada polisacharydy do cukrów, a fermentacja przekształca cukry w etanol. Literatura dotycząca zintegrowanych biorafinerii podkreśla, że uprzemysłowienie etanolu celulozowego wymaga łączenia tych etapów, a nie optymalizacji enzymu w izolacji od reszty procesu [4].

Mechanizm działania: od włókna celulozowego do glukozy

Celuloza jest polimerem glukozy. Jej jednostką powtarzalną jest anhydroglukoza, a stechiometrycznie hydroliza można zapisać jako: $(C_6H_{10}O_5)_n + n H_2O \rightarrow n C_6H_{12}O_6$. Następnie fermentacja glukozy przebiega według uproszczonego równania: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_2H_5OH + 2 CO_2$. Te dwa równania pokazują, dlaczego hydroliza celulozy jest etapem przygotowawczym, a nie samą fermentacją.

Stechiometria pomaga też zrozumieć ograniczenia masowe procesu. Z 1 mola glukozy o masie około 180 g można teoretycznie otrzymać 2 mole etanolu o łącznej masie około 92 g, czyli około 0,51 g etanolu na 1 g glukozy. Ponieważ jednostka anhydroglukozy w celulozie ma niższą masę niż glukoza po przyłączeniu wody, 1 g czystej celulozy odpowiada teoretycznie około 1,11 g glukozy i około 0,57 g etanolu przed uwzględnieniem strat, niepełnej hydrolizy, inhibicji i metabolizmu komórek.

W praktyce celuloza działa jako układ współpracujących aktywności. Endoglukanazy przecinają wewnętrzne odcinki łańcuchów celulozy i tworzą nowe końce reaktywne. Celobiohydrolazy lub egzoglukanazy odcinają jednostki z końców łańcucha, często tworząc celobiozę. β -glukozydazy domykają proces, przekształcając celobiozę i krótkie cello-oligosacharydy w glukozę; właśnie dlatego suplementacja β -glukozydazą jest opisywana jako sposób poprawy hydrolizy lignocelulozy w wybranych układach enzymatycznych [5].

Synergia ma znaczenie, ponieważ nagromadzenie produktów pośrednich może ograniczać dalszą hydrolizę. Jeśli celobioza nie jest skutecznie przekształcana do glukozy, może obniżyć efektywność działania części celulaz. Z kolei sama β -glukozydaza nie rozwiązuje problemu, jeśli endoglukanazy i egzoglukanazy nie generują odpowiedniej ilości krótkich substratów. Dlatego nowoczesne mieszaniny enzymatyczne są projektowane jako zestawy funkcji, a nie pojedynczy enzym o jednym zadaniu [6].

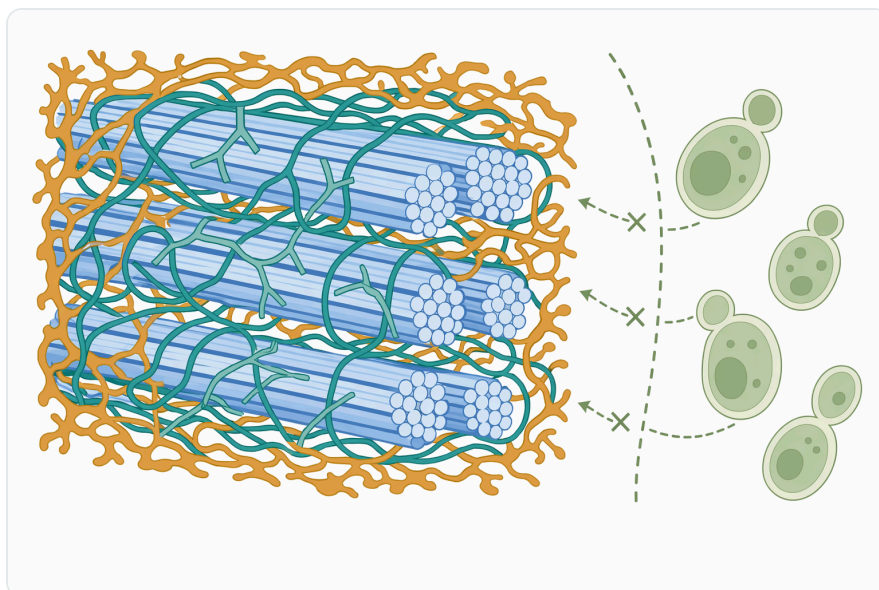


Figure 2. 셀룰로오스는 헤미셀룰로오스와 리그닌에 의해 보호되는 불용성 미세섬유 안에 포도당 단위가 갇혀 있어 직접 발효하기 어렵다.

Rola obróbki wstępnej biomasy

Hydroliza enzymatyczna rzadko zaczyna się od nieprzetworzonego surowca. Obróbka wstępna ma zwiększyć porowatość, zmniejszyć fizyczną osłonę ligniny i hemicelulozy, częściowo rozluźnić strukturę włókien oraz zwiększyć powierzchnię kontaktu enzymu z celulozą. Przeglądy bioetanolu lignocelulozowego wskazują, że właśnie oporność strukturalna biomasy pozostaje jednym z głównych wyzwań procesu [2].

W literaturze opisuje się wiele kierunków przygotowania biomasy: podejścia fizyczne, chemiczne, fizykochemiczne i biologiczne. Przykładowo badania nad obróbką wspomaganą cieczami jonowymi pokazują, że modyfikacja struktury lignocelulozy może zwiększać podatność materiału na działanie celulazy i wspierać produkcję bioetanolu, choć konkretne efekty zależą od surowca i warunków procesu [7].

Lignina jest szczególnie istotna, ponieważ może ograniczać hydrolizę na dwa sposoby: osłaniać celulozę oraz wiązać enzymy w sposób nieproduktywny. Badania nad alkilacją ligniny wskazują, że modyfikacja właściwości ligniny może zwiększać efektywność enzymatycznej hydrolizy lignocelulozy, co potwierdza, że bariera ligninowa nie jest wyłącznie problemem mechanicznym, lecz także chemiczno-powierzchniowym [8].

Co decyduje o skuteczności celulazy w procesie bioetanolowym?

Najważniejsze czynniki to dostępność celulozy, skład chemiczny biomasy, stopień rozdrobnienia, historia obróbki wstępnej, udział ligniny, obecność hemicelulozy, profil enzymatyczny oraz kompatybilność warunków hydrolizy z fermentacją. Przeglądy dotyczące produkcji bioetanolu z biomasy podkreślają, że hydroliza enzymatyczna jest etapem krytycznym, ale jej wynik jest ściśle zależny od całego otoczenia procesowego [1].

Nie istnieje jeden uniwersalny wzór skuteczności dla wszystkich substratów. Słoma pszenna, bagassa trzciniowa, trawa słoniowa, słoma ryżowa, łuski sojowe, odpady papiernicze i pozostałości owocowe różnią się udziałem celulozy, hemicelulozy, ligniny, popiołu i ekstraktywnych składników ubocznych. W badaniach nad trawą słoniową pokazano, że uzysk hydrolizy i produkcja etanolu zależą od właściwości konkretnej biomasy oraz konfiguracji konwersji [9].

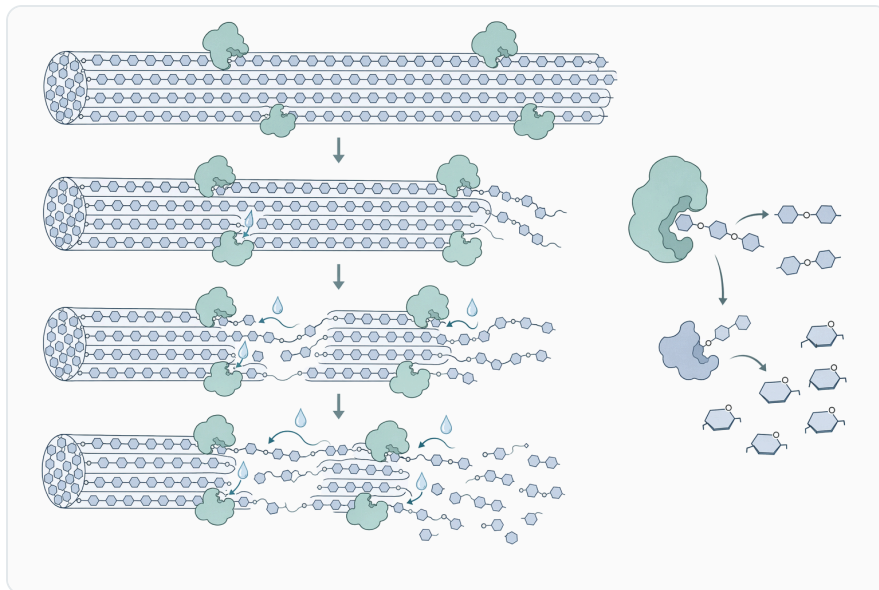


Figure 3. 엔도글루카나아제, 셀로비오하이드롤라아제, β -글루코시다아제가 순차적으로 작용하여 셀룰로오스 사슬을 셀로비오스와 포도당으로 전환한다.

Równie ważny jest profil enzymatyczny. Preparat zawierający głównie aktywności celulolityczne będzie inaczej działał na materiał bogaty w hemicelulozę niż koktajl zawierający także ksylanazy lub inne enzymy pomocnicze. Praca nad immobilizacją celulaz i ksylanaz na magnetycznym tlenku grafenu pokazuje, że łączenie aktywności rozkładających różne frakcje ściany komórkowej jest istotnym kierunkiem poprawy hydrolizy biomasy [10].

Czynnik procesowy	Dlaczego ma znaczenie	Typowy wpływ na hydrolizę
Dostępność celulozy	Enzym działa na powierzchni substratu, więc celuloza musi być odsłonięta	Lepszy kontakt enzym–substrat zwykle zwiększa szybkość uwalniania cukrów
Zawartość ligniny	Lignina może osłaniać celulozę i wiązać enzymy nieproduktywnie	Wysoka bariera ligninowa może ograniczać wykorzystanie dodanej celulazy
Obecność hemicelulozy	Hemiceluloza utrudnia dostęp do mikrofibrili celulozowych	Enzymy pomocnicze, np. ksylanazy, mogą poprawiać dostępność struktury
Profil β -glukozydazy	Celobioza musi być dalej rozkładana do glukozy	Zbyt słaby etap końcowy może ograniczać pełną sacharyfikację
Konfiguracja procesu	Hydroliza i fermentacja mogą być prowadzone osobno lub łącznie	Każda konfiguracja wymaga kompromisu między enzymem, substratem i mikroorganizmem

Celulaza, ksylanaza i β -glukozydaza: dlaczego koktajl enzymatyczny bywa skuteczniejszy?

W lignocelulozie celuloza nie występuje w czystej postaci. Hemicelulozy, w tym ksylany, tworzą dodatkową warstwę strukturalną i mogą ograniczać dostęp celulaz do włókien. Z tego powodu w praktyce procesowej często rozważa się układy celulaza–ksylanaza– β -glukozydaza, w których każda aktywność usuwa inną barierę w ścianie komórkowej ^[11].

Badania nad β -glukozydazą D2-BGL z *Chaetomella raphigera* pokazują, że enzymy końcowego etapu hydrolizy mogą być efektywnym uzupełnieniem celulaz w rozkładzie biomasy lignocelulozowej. Znaczenie β -glukozydazy wynika nie tylko z produkcji glukozy, lecz także z ograniczania akumulacji celobiozy, która może utrudniać dalsze działanie układu celulozowego ^[5].

Z kolei prace nad szczepami *Streptomyces* produkującymi celulazy i ksylanazy w kontekście waloryzacji słomy pszennej pokazują, że jednoczesne rozkładanie frakcji celulozowej i hemicelulozowej jest istotne dla podniesienia dostępności cukrów fermentowalnych. Taki kierunek jest szczególnie ważny dla surowców rolniczych o wysokim udziale ksylanów ^[12].

Konfiguracje technologiczne: SHF, SSF i procesy zintegrowane

W oddzielnej hydrolizie i fermentacji, często określanej jako SHF, enzymatyczna sacharyfikacja jest prowadzona jako osobny etap, a uzyskany hydrolizat trafia następnie do fermentacji. Zaletą takiego podejścia jest możliwość dobrania warunków korzystnych dla celulazy niezależnie od warunków

preferowanych przez drożdże lub bakterie. Wadą może być dodatkowy etap operacyjny oraz ryzyko nagromadzenia produktów hydrolizy [4].

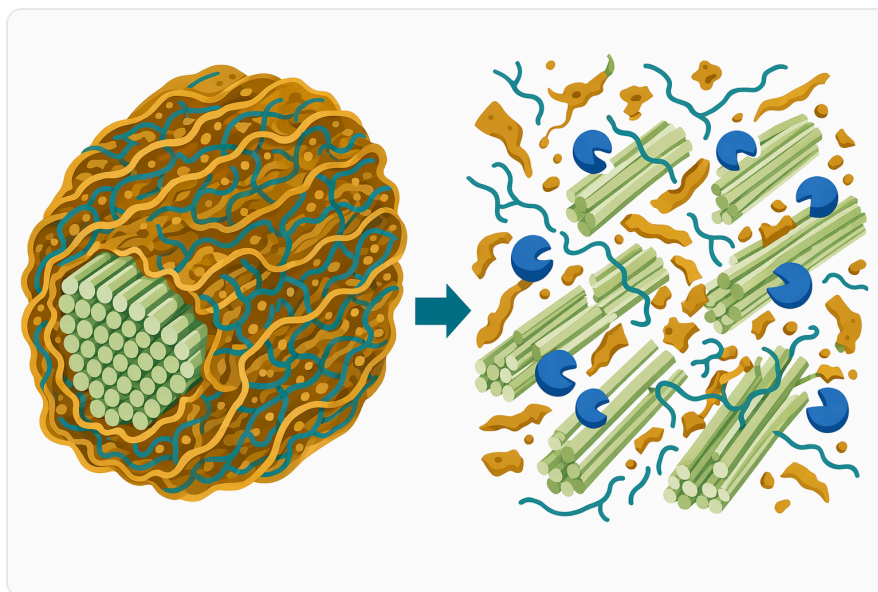


Figure 4. 전처리리는 리그노셀룰로오스 기질을 열어 셀룰로오스 표면이 셀룰라아제에 더 많이 노출되도록 함으로써 당화 효율을 높인다.

W jednoczesnej sacharyfikacji i fermentacji, czyli SSF, celulaza uwalnia cukry, a mikroorganizm fermentacyjny zużywa je w tym samym układzie. Może to ograniczać akumulację glukozy i celobiozy, ale wymaga kompromisu, ponieważ optimum działania enzymu i optimum mikroorganizmu nie zawsze są identyczne. Badania z wykorzystaniem enzymów hydrolitycznych *Aspergillus niger* i *Aspergillus flavus* oraz immobilizowanych komórek *Saccharomyces cerevisiae* pokazują znaczenie integracji hydrolizy z fermentacją w procesach bioetanolowych [13].

Istnieją też podejścia bardziej zintegrowane, w których produkcja enzymu, hydroliza i fermentacja są łączone w ramach koncepcji biorafineryjnej. Prace dotyczące produkcji celulaz przez *Trichoderma reesei* oraz poprawy ich zdolności degradacji biomasy pokazują, że rozwój etapu enzymatycznego pozostaje aktywnym obszarem badań nad wydajniejszą konwersją lignocelulozy [14].

Konfiguracja	Główna cecha	Mocna strona	Ograniczenie praktyczne
SHF — oddzielna hydroliza i fermentacja	Hydroliza enzymatyczna poprzedza fermentację	Łatwiejsze niezależne sterowanie etapami	Więcej operacji procesowych i możliwa akumulacja cukrów
SSF — jednoczesna sacharyfikacja i fermentacja	Enzym i mikroorganizm działają równolegle	Cukry są zużywane na bieżąco	Konieczny kompromis warunków dla enzymu i komórek

Konfiguracja	Główna cecha	Mocna strona	Ograniczenie praktyczne
Procesy zintegrowane	Łączenie produkcji enzymu, hydrolizy i fermentacji	Potencjał uproszczenia łańcucha technologicznego	Większa złożoność biologiczna i kontrolna
Układy z enzymami immobilizowanymi	Enzymy są związane z nośnikiem	Możliwość ponownego użycia w wybranych modelach	Wymaga dopasowania nośnika, substratu i warunków procesu

Zastosowanie na różnych surowcach lignocelulozowych

Celulaza jest badana dla wielu typów biomasy, ponieważ lokalna dostępność surowca często decyduje o ekonomice bioetanolu drugiej generacji. Resztki rolnicze, odpady z przetwórstwa roślinnego i biomasa trawiasta mogą pełnić funkcję źródła węgla, o ile ich frakcja polisacharydowa zostanie skutecznie przekształcona do cukrów fermentowalnych [3].

W przypadku słomy pszennej badania nad szczepem *Streptomyces* izolowanym z termitów żywiących się drewnem wskazują na możliwość produkcji enzymów celulolitycznych i ksylanolitycznych oraz ich wykorzystania w waloryzacji słomy i produkcji bioetanolu. Tego typu prace są ważne, bo słoma jest surowcem masowym, ale jednocześnie strukturalnie odpornym [12].



Figure 5. 일반적인 전처리 방법들은 셀룰라아제가 셀룰로오스에 접근하도록 돕는 방식과 그 과정에서 발생하는 공정상 절충점이 서로 다르다.

Bagassa trzcinowa jest kolejnym istotnym substratem, ponieważ powstaje jako pozostałość po przetwarzaniu trzciny cukrowej. Badania nad celulazą produkowaną przez szczep *Bacillus* izolowany z gleby upraw trzciny oraz zastosowaniem na bagassie pokazują, że lokalne źródła mikroorganizmów i lokalne odpady roślinne mogą być łączone w koncepcji regionalnej produkcji bioetanolu ^[15].

Słoma ryżowa również pojawia się w literaturze jako substrat dla sacharyfikacji celulazowej. Praca nad produkcją celulazy przez *Sporotrichum thermophile* i wykorzystaniem jej do sacharyfikacji słomy ryżowej pokazuje, że odpady rolnicze mogą służyć zarówno jako materiał do wytwarzania enzymów, jak i jako substrat hydrolizy ^[16].

Odpady papiernicze i osady z recyklingu papieru stanowią odmienny przypadek, ponieważ przeszły już wcześniejszą obróbkę przemysłową. Analiza ekonomicznej opłacalności recyklingu celulaz w produkcji bioetanolu z recyklingowego osadu papierniczego pokazuje, że koszt i ponowne użycie enzymu mogą być istotnym elementem bilansu technologicznego ^[17].

Immobilizacja i recykling celulaz: trend, nie warunek użycia

W badaniach nad bioetanolem coraz częściej analizuje się immobilizację enzymów, czyli związanie ich z nośnikiem w celu poprawy stabilności operacyjnej lub umożliwienia ponownego wykorzystania. Przegląd trendów w technologii enzymatycznej dla bioetanolu wskazuje, że immobilizowane enzymy są jednym z kierunków zmniejszania kosztu enzymatycznej hydrolizy w przyszłych procesach ^[11].

Przykładem są chitozanowe powłoki na magnetycznych nanocząstkach stosowane do immobilizacji celulazy w sacharyfikacji biomasy lignocelulozowej. Takie rozwiązania pozwalają badać odzysk enzymu z układu reakcyjnego, ale ich skuteczność zależy od nośnika, charakteru biomasy, dostępności powierzchni i odporności enzymu na warunki procesu ^[18].

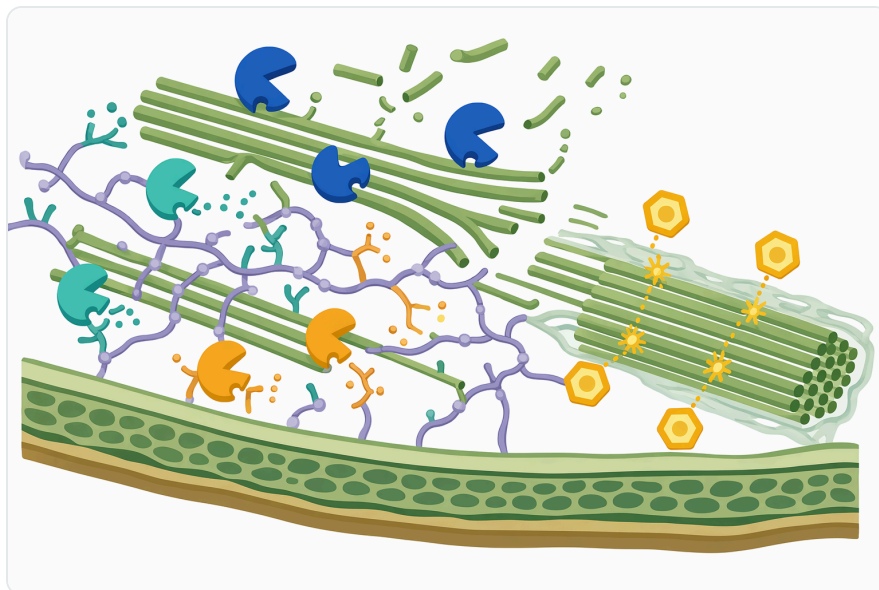


Figure 6. 보조 효소는 헤미셀룰로오스 네트워크를 느슨하게 하고 분해가 어려운 셀룰로오스 영역을 극복하는 데 도움을 줌으로써 셀룰라아제의 효과를 높일 수 있다.

Nie oznacza to, że każdy proces bioetanolowy wymaga immobilizowanej celulozy. W wielu układach stosuje się enzymy w postaci wolnej, zwłaszcza gdy celem jest prosta hydroliza jednorazowa. Immobilizacja jest raczej narzędziem optymalizacyjnym dla określonych konfiguracji, a nie uniwersalnym zamiennikiem klasycznej sacharyfikacji enzymatycznej [10].

Ograniczenia techniczne i realistyczne oczekiwania

Najważniejsze ograniczenie wynika z samego substratu. Jeśli celuloza pozostaje zamknięta w strukturze bogatej w ligninę, dodanie celulozy nie musi dać wysokiego uzysku cukrów. Enzym nie zastępuje prawidłowego przygotowania biomasy; działa najlepiej wtedy, gdy obróbka wstępna odsłoni odpowiednią powierzchnię polisacharydową [2].

Drugie ograniczenie dotyczy fermentacji. Celuloza może zwiększyć ilość glukozy, ale końcowy uzysk etanolu zależy od mikroorganizmu, tolerancji na etanol, obecności inhibitorów i zdolności wykorzystania dostępnych cukrów. Klasyczne drożdże dobrze fermentują glukozę, natomiast pełne wykorzystanie frakcji hemicelulozowej wymaga dodatkowych rozwiązań, ponieważ nie wszystkie cukry z biomasy są metabolizowane z taką samą łatwością [4].

Trzecim ograniczeniem jest koszt enzymatyczny w skali procesu. Nawet gdy hydroliza działa technicznie, ekonomika zależy od ceny enzymu, dawki procesowej, czasu reakcji, uzysku cukrów, możliwości recyklingu i wartości pozostałych strumieni biorafinerii. Analizy dotyczące recyklingu

celulaz w bioetanolu z osadów papierniczych pokazują, że gospodarka enzymem może mieć bezpośredni wpływ na opłacalność [17].

Czwarte ograniczenie wiąże się z przenoszeniem wyników między surowcami. Dane uzyskane dla słomy ryżowej, bagassy, trawy słoniowej lub słomy pszennej nie powinny być automatycznie traktowane jako przewidywanie dla innego surowca. Każda biomasa ma własną historię uprawy, zbioru, przechowywania i obróbki, a te czynniki zmieniają podatność na hydrolizę [19].



Figure 7. 셀룰라아제를 이용한 당화는 볏짚, 풀류, 농작물 부산물, 침입성 바이오매스, 과일 또는 채소 박과 같은 잔류물에 적용될 수 있다.

Znaczenie środowiskowe i biorafineryjne

Wykorzystanie celulazy w bioetanolu drugiej generacji ma sens nie tylko jako etap chemiczno-biologiczny, lecz także jako narzędzie waloryzacji odpadów. Pozostałości rolnicze i agroprzemysłowe mogą zostać przekształcone w cukry fermentowalne, zamiast pozostawać nisko wartościowym strumieniem odpadowym. Przeglądy dotyczące bioetanolu lignocelulozowego podkreślają, że taka konwersja wspiera model gospodarki opartej na odnawialnym węglu [3].

Koncepcja gospodarki obiegu zamkniętego jest szczególnie widoczna w regionach, gdzie dostępne są duże ilości lokalnych pozostałości biomasy. Analiza korzyści środowiskowych i społeczno-ekonomicznych produkcji bioetanolu w północnej Ghanie wskazuje, że lokalne strumienie biomasy mogą mieć znaczenie dla rozwoju regionalnych łańcuchów wartości, jeśli zostaną odpowiednio zintegrowane technologicznie [19].

Biorafineria nie musi ograniczać się do etanolu. Hydroliza lignocelulozy może być punktem wyjścia do uzyskiwania cukrów dla paliw, chemikaliów i materiałów biopochodnych, a frakcje niecukrowe mogą trafiać do innych zastosowań energetycznych lub materiałowych. Zintegrowane podejścia biorafineryjne są więc ważne, ponieważ poprawiają wykorzystanie całego surowca, a nie tylko frakcji celulozowej [4].

Jak pozycjonować celulazę w procesie B2B?

Dla odbiorcy przemysłowego lub technologicznego celulaza CAS 9012-54-8 powinna być traktowana jako narzędzie do zwiększania dostępności cukrów z celulozy, a nie jako samodzielna technologia produkcji etanolu. O wyniku końcowym decyduje układ: biomasa, przygotowanie surowca, hydroliza, fermentacja, separacja etanolu oraz zagospodarowanie pozostałości [1].

W praktyce B2B produkt może być rozpatrywany w pracach technologicznych, pilotażowych i procesowych związanych z bioetanołem drugiej generacji, sacharyfikacją lignocelulozy oraz waloryzacją odpadów roślinnych. Jego rola jest szczególnie czytelna tam, gdzie celem jest przekształcenie frakcji celulozowej w glukozę i krótkie cukry możliwe do dalszej fermentacji [11].

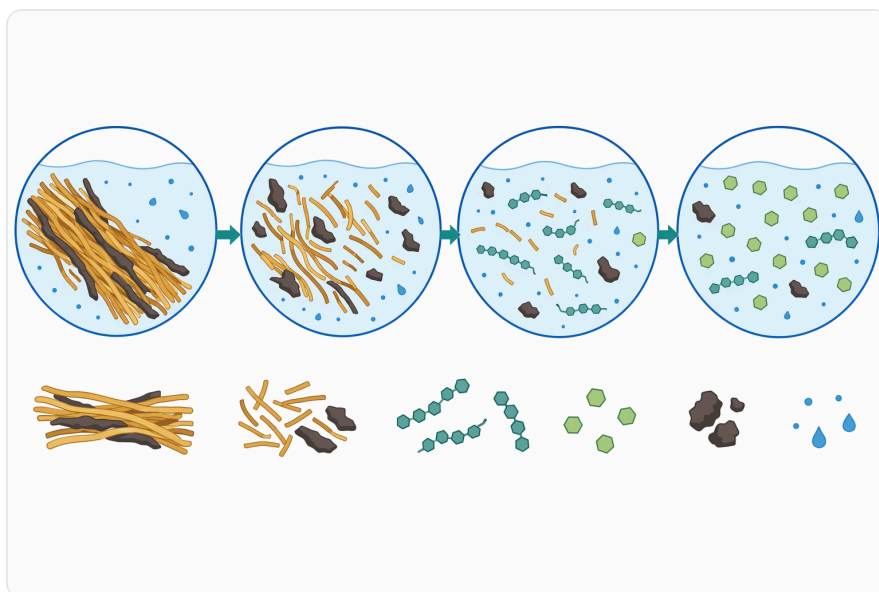


Figure 8. 셀룰라아제 가수분해 과정에서 탄수화물은 불용성 섬유질에서 액상에 녹아 있는 올리고당, 셀로비오스, 포도당으로 이동한다.

Enzymes.bio dostarcza Cellulase Enzyme For Bioethanol Production CAS 9012-54-8 w modelu sprzedaży online, w jednostkach 1 kg. Firma pełni rolę dostawcy, a dokumenty CoA i SDS są przekazywane wraz z zamówieniem. Zastosowanie produktu powinno być zawsze oceniane w kontekście konkretnej biomasy i konfiguracji procesu.

Podsumowanie techniczne

Celulaza CAS 9012-54-8 jest kluczowym enzymem hydrolizy celulozy w produkcji bioetanolu z biomasy lignocelulozowej. Jej funkcja polega na rozkładzie polimeru glukozy do cukrów fermentowalnych, które następnie mogą być przekształcone w etanol przez mikroorganizmy fermentacyjne ^[2].

Najlepsze efekty osiąga się wtedy, gdy celulaza działa w dobrze zaprojektowanym systemie: po odpowiedniej obróbce wstępnej biomasy, w obecności właściwych aktywności pomocniczych i w konfiguracji dopasowanej do fermentacji. Badania nad słomą, bagasą, trawą słoniową, słomą ryżową, odpadami papierniczymi oraz enzymami immobilizowanymi pokazują, że skuteczność celulazy jest realna, ale silnie zależna od matrycy surowcowej i warunków technologicznych ^[12].

Dla użytkowników B2B najważniejszy wniosek jest praktyczny: celulaza nie zastępuje obróbki wstępnej ani fermentacji, lecz łączy te etapy przez wytworzenie cukrów z trudno dostępnej celulozy. Właśnie dlatego pozostaje jednym z podstawowych enzymów w rozwoju bioetanolu drugiej generacji i szerszych koncepcji biorafineryjnych opartych na lignocelulozie ^[4].

Zamów Cellulase Enzyme For Bioethanol Production Cas 9012-54-8 online

Sprzedawany w jednostkach 1 kg, dostępny z magazynu i gotowy do wysyłki. Zamów bezpośrednio w naszym sklepie — zapłać online, a my przetworzymy Twoje zamówienie. Do każdego zamówienia dołączamy Certyfikat Analizy i Kartę Charakterystyki.

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

Bibliografia

Ponumerowano według kolejności pierwszego cytowania. Źródła open access, każde zweryfikowane jako dostępne w momencie publikacji; numery cytowań w tekście prowadzą tutaj.

1. Niu, Y., Joseph, N., Hemashini, T., & Leh, C. (2024). Valorization of lignocellulosic biomass: Progress in the production of second-generation bioethanol. *Renewable Energies*, 2.
2. Prasanthan, A., Prasad, R. K., & Balu, M. (2024). Recent advancements and challenges in the lignocellulosic and algal biomass-based bioethanol production: a review. *Biofuels*, 16, 499 - 518.
3. Raj, A., & Prasad, B. (2024). Lignocellulosic Biomass for Bioethanol Recovery: A way towards Environmental Sustainability. *Journal of advanced scientific research*.

4. Qiao, J., Cui, H., Wang, M., Fu, X., Wang, X., Li, X., & Huang, H. (2022). Integrated biorefinery approaches for the industrialization of cellulosic ethanol fuel. *Bioresource Technology*, 127516 .
5. Kao, M., Kao, M., Kuo, H., Lee, C., Huang, K., Huang, T., Li, C., ... et al. (2019). Chaetomella raphigera β -glucosidase D2-BGL has intriguing structural features and a high substrate affinity that renders it an efficient cellulase supplement for lignocellulosic biomass hydrolysis. *Biotechnology for Biofuels*, 12.
6. Wang, M., Cui, H., Gu, C., Li, A., Qiao, J., Schwaneberg, U., Zhang, L., ... et al. (2023). Engineering All-Round Cellulase for Bioethanol Production. *ACS Synthetic Biology*.
7. John, A. J., & Selvarajan, E. (2024). Ionic liquid-assisted pretreatment of lignocellulosic biomass using purified Streptomyces MS2A cellulase for bioethanol production. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132149 .
8. Lai, C., Tu, M., Xia, C., Shi, Z., Sun, S., Yong, Q., & Yu, S. (2017). Lignin Alkylation Enhances Enzymatic Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass. *Energy & Fuels*, 31, 12317-12326.
9. Siqueira, L. N., Guarda, E., Guarda, P. M., Silva, R. F. D., & Barbosa, R. (2016). Yield of hydrolysis and production of lignocellulosic ethanol from elephant grass biomass. *Journal of Bioenergy and Food Science*, 3, 191-196.
10. Paz-Cedeno, F., Carceller, J. M., Iborra, S., Donato, R., Godoy, A., Paula, A. V., Monti, R., ... et al. (2021). Magnetic graphene oxide as a platform for the immobilization of cellulases and xylanases: Ultrastructural characterization and assessment of lignocellulosic biomass hydrolysis. *Renewable Energy*, 164, 491-501.
11. 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*.
12. Danso, B., Ali, S., Xie, R., & Sun, J. (2022). Valorisation of wheat straw and bioethanol production by a novel xylanase- and cellulase-producing Streptomyces strain isolated from the wood-feeding termite, Microcerotermes species. *Fuel*.
13. Alabdall, A. H., Almutari, A. A., Aldakeel, S. A., Albarrag, A., Aldakheel, L. A., Alsoufi, M. H., Alfuraih, L. Y., ... et al. (2023). Bioethanol Production from Lignocellulosic Biomass Using Aspergillus niger and Aspergillus flavus Hydrolysis Enzymes through Immobilized S. cerevisiae. *Energies*.
14. Zhang, Z., Zhang, J., Li, H., Zhao, Q., Li, X., Liu, G., Lu, X., ... et al. (2025). The combination of continuous-pulse feeding hydrolysates with soybean hulls induction during fed-batch fermentation of Trichoderma reesei b5 significantly elevated the cellulase production and its degradation ability on lignocellulosic biomass. *International Journal of Biological Macromolecules*, 142244 .
15. Chettri, D., & Verma, A. (2024). Statistical optimization of cellulase production from Bacillus sp. YE16 isolated from yak dung of the Sikkim Himalayas for its application in bioethanol production using pretreated sugarcane bagasse. *Microbiology Research*, 281, 127623 .
16. Bajaj, B., Sharma, M., & Rao, R. S. (2014). Agricultural residues for production of cellulase from Sporotrichum thermophile LAR5 and its application for saccharification of rice straw.
17. Gomes, D. G., Serna-Loaiza, S., Cardona, C., Gama, M., & Domingues, L. (2018). Insights into the economic viability of cellulases recycling on bioethanol production from recycled paper sludge. *Bioresource Technology*, 267, 347-355 .
18. Kaur, G., Taggar, M. S., & Kalia, A. (2023). Cellulase-immobilized chitosan-coated magnetic nanoparticles for saccharification of lignocellulosic biomass. *Environmental science and pollution research international*, 30, 111627-111647.

19. Tulashie, S., Dodoo, D., Ketu, E., Adiku, S., Miyittah, M., Forfoe, E., & Arthur, E. (2023). Environmental and social-economic benefits of circular economy for bioethanol production in the northern part of Ghana. *Journal of Cleaner Production*.

Skontaktuj się z Enzymes.bio

Masz pytania dotyczące zamówienia? Nasz zespół chętnie pomoże.

E-MAIL wholesale@enzymes.bio

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

[Skontaktuj się z nami →](#)



400+ klientów B2B



60+ partnerów badawczych z uczelni



54 obsługiwanych na całym świecie

© 2026 Enzymes.bio · Dostawy enzymów przemysłowych i do przetwórstwa żywności · Nie do spożycia przez ludzi ani sprzedaży detalicznej.