

Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber — kwaśna celulaza do kontrolowanej hydrolizy włókna roślinnego

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

Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber to preparat celulazowy do częściowego rozkładu celulozy i modyfikacji włókna w środowisku kwaśnym lub lekko kwaśnym. W praktyce wspiera rozluźnianie ścian komórkowych surowców roślinnych, poprawia dostępność włókna dla dalszej obróbki i może ułatwiać ekstrakcję, fermentację, teksturyzację lub powierzchniową obróbkę materiałów celulozowych. Enzymes.bio oferuje ten enzym jako produkt B2B sprzedawany online w jednostkach 1 kg; CoA i SDS są dostarczane wraz z zamówieniem.

Czym jest kwaśna celulaza do hydrolizy włókna?

Kwaśna celulaza to enzym lub mieszanina aktywności celulolitycznych ukierunkowanych na rozkład celulozy — głównego polisacharydu strukturalnego w ścianach komórkowych roślin. Określenie „acid” odnosi się do profilu działania w warunkach kwaśnych, co ma znaczenie w przetwórstwie owoców, części procesów fermentacyjnych, modyfikacji włókien roślinnych oraz obróbce materiałów, których naturalne lub technologiczne środowisko nie jest obojętne. Mikrobiologiczne celulazy są szeroko opisywane jako enzymy przemysłowe stosowane do przekształcania biomasy celulozowej w bardziej dostępne frakcje, w tym cukry redukujące i krótsze oligomery ^[1].

Celuloza jest polimerem glukozy połączonej wiązaniami β -1,4-glikozydowymi. To właśnie regularna, włóknista struktura łańcuchów celulozowych odpowiada za wytrzymałość tkanek roślinnych, bawełny, słomy, łusek, otrąb, wysłdków, okary czy włókien papierniczych. Dla technologii ta odporność bywa problemem: ogranicza uwalnianie soku, utrudnia scukrzanie biomasy, zmniejsza podatność surowca na fermentację i może pogarszać teksturę produktów roślinnych.

W praktyce „hydrolyzing fiber” nie oznacza całkowitego rozpuszczenia całego materiału roślinnego. Celulaza działa głównie na dostępne fragmenty celulozy, a rzeczywisty efekt zależy od tego, czy włókno jest odsłonięte, uwodnione i podatne na kontakt z enzymem. W surowcach lignocelulozowych celuloza

współwystępuje z hemicelulozami, pektynami, ligniną, białkami i związkami fenolowymi, dlatego w wielu aplikacjach celulaza działa najlepiej jako część szerszej strategii enzymatycznej lub procesu przygotowania surowca.

Mechanizm działania: jak celulaza „otwiera” włókno

Hydroliza celulozy polega na przecinaniu wiązań β -1,4 w łańcuchach polisacharydowych. W uproszczeniu enzym działa jak selektywne narzędzie tnące: przyłącza się do dostępnego fragmentu włókna, destabilizuje wiązanie glikozydowe i przy udziale wody prowadzi do powstania krótszych fragmentów celulozy. Badania nad endoglukanazami i bifunkcyjnymi celulazami pokazują, że różne składniki systemu celulolitycznego mogą współdziałać w hydrolizie słomy pszennej, czyli substratu typowego dla biomasy lignocelulozowej [2].

W systemie celulazowym zwykle wyróżnia się kilka typów aktywności. Endoglukanazy przecinają łańcuch celulozy wewnątrz struktury, tworząc nowe końce i obniżając długość polimeru. Enzymy działające od końców łańcuchów uwalniają krótsze jednostki, a aktywności pomocnicze mogą przekształcać produkty pośrednie w prostsze cukry. Dla użytkownika przemysłowego najważniejszy nie jest jednak akademicki podział nazw, lecz konsekwencja technologiczna: częściowa hydroliza osłabia spójność włókna, zwiększa powierzchnię dostępną dla wody i ułatwia działanie kolejnych etapów procesu.

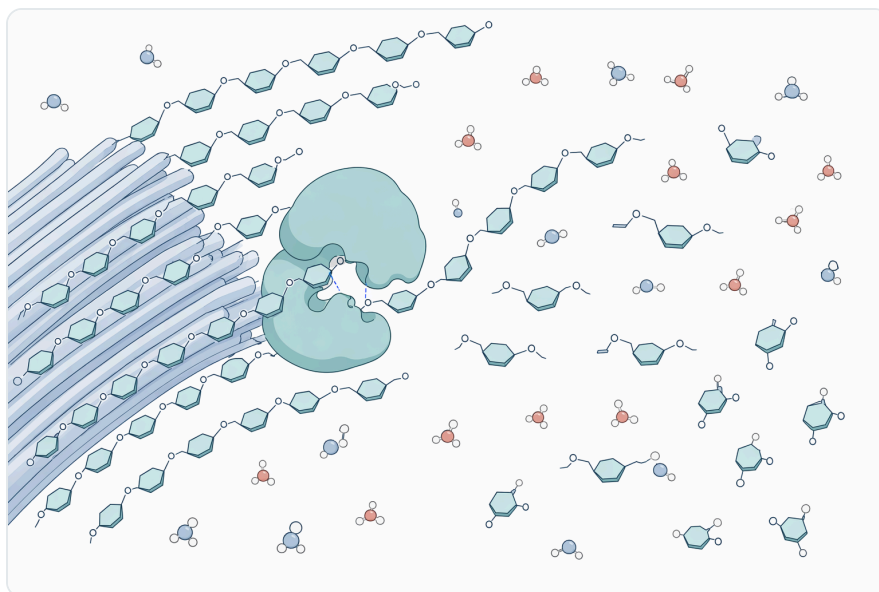


Figure 1. 산성 셀룰라아제는 수화된 셀룰로오스에서 접근 가능한 베타-1,4 결합을 가수분해하여 사슬을 짧게 만들고 식물 섬유 네트워크를 약화시킵니다.

Kwaśna celulaza jest szczególnie interesująca tam, gdzie nie opłaca się lub nie należy przesuwac procesu do warunków obojętnych albo zasadowych. Surowce owocowe, wiele zawiesin roślinnych, część procesów fermentacji i niektóre etapy obróbki tekstyliów mogą przebiegać w środowisku kwaśnym. Dobór enzymu o profilu kwaśnym pozwala utrzymać logikę procesu bez agresywnej korekty pH, choć końcowy efekt zawsze zależy od matrycy surowca i czasu kontaktu.

Dlaczego włókno roślinne jest trudnym substratem?

Włókno roślinne nie jest jednorodną masą celulozy. W ścianie komórkowej celulozowe mikrofibryle są otoczone hemicelulozami, pektynami, ligniną i innymi składnikami, które ograniczają dostęp enzymu. Dlatego ta sama celulaza może działać szybko na materiał mocno rozdrobniony i uwodniony, ale znacznie wolniej na surowiec bogaty w ligninę, woski lub frakcje nierozpuszczalne.

W badaniach nad włóknem pokarmowym z produktów ubocznych i surowców roślinnych często obserwuje się, że połączenie oddziaływań mechanicznych, fizycznych i enzymatycznych zmienia strukturę oraz właściwości funkcjonalne włókna. Przykładem jest okara, czyli nierozpuszczalne włókno resztkowe z przetwórstwa soi: technologia kawitacyjno-strumieniowa połączona z obróbką enzymatyczną była analizowana właśnie pod kątem zmian struktury i funkcji takiego włókna ^[3].

Z punktu widzenia procesu oznacza to, że celulaza nie „naprawia” każdego ograniczenia surowca. Jeśli barierą jest pektynowe żelowanie, potrzebna może być aktywność pektynolityczna; jeśli dominują ksylany, pomocna może być ksylanaza; jeśli problemem jest lignina, sama celulaza nie usuwa jej selektywnie. Kwaśna celulaza jest więc narzędziem ukierunkowanym na celulozową część matrycy, a nie uniwersalnym rozpuszczalnikiem całej biomasy.

Najważniejsze zastosowania przemysłowe Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber

Przetwórstwo owoców, warzyw i produktów ubocznych

W owocach i warzywach część soku, związków aromatycznych, barwników i polifenoli pozostaje uwięziona w ścianach komórkowych. Celulaza może wspierać ich uwalnianie poprzez częściowe naruszenie rusztowania celulozowego. W badaniu nad produkcją celulazy z wykorzystaniem odpadowych surowców rolnych analizowano także wpływ enzymu na jakość soku jabłkowego, co dobrze ilustruje praktyczne powiązanie między celulazą a przetwórstwem owoców ^[4].

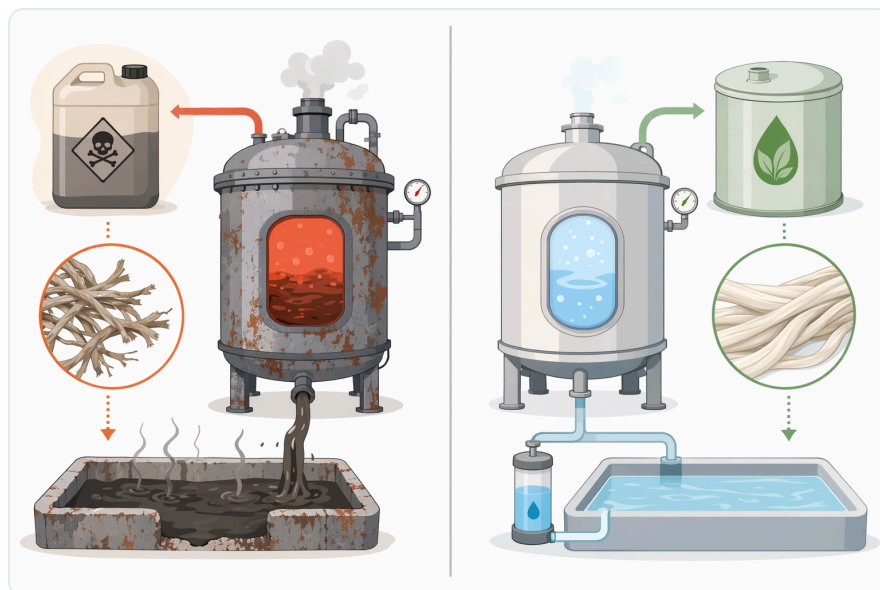


Figure 2. 공정의 pH 화학 조건과 해당 조건에 대한 기질의 내성에 따라 산성, 중성, 알칼리성 셀룰라아제가 선택됩니다.

Produkty uboczne owoców są coraz częściej traktowane jako źródło składników funkcjonalnych, a nie wyłącznie odpad. Przeglądy dotyczące owocowych produktów ubocznych wskazują ich znaczenie dla odzysku frakcji o potencjale żywieniowym i prozdrowotnym, w tym błonnika i związków bioaktywnych [5]. W takim kontekście kwaśna celulaza może pomagać w „otwieraniu” struktury surowca, ale końcowy profil ekstraktu będzie zależał od całej ściany komórkowej, nie tylko od celulozy.

Enzymatyczna hydroliza może być też łączona z technikami wspomagającymi, takimi jak ultradźwięki. W pracy dotyczącej *Elaeagnus angustifolia* analizowano ultradźwiękowo wspomaganą hydrolizę enzymatyczną jako sposób ekstrakcji związanych polifenoli i oceny ich aktywności antyoksydacyjnej [6]. Nie oznacza to, że każdy proces wymaga ultradźwięków, lecz pokazuje, że celulolityczne naruszenie ścian komórkowych jest częścią szerszego trendu odzysku składników z matrycy roślinnych.

Modyfikacja błonnika i włókna pokarmowego

Kwaśna celulaza może być używana do częściowej modyfikacji włókna, gdy celem jest zmiana jego uwodnienia, rozproszenia, tekstury lub dostępności frakcji rozpuszczalnych. Badania nad rozpuszczalnym błonnikiem z owoców, skórek i otręb pokazują, że obróbka wstępna oraz ekstrakcja enzymatyczna wpływają na strukturę makrocząsteczek, właściwości fizykochemiczne i aktywność biologiczną otrzymanych frakcji [7].

W przypadku skórki *Akebia trifoliata* optymalizowano złożoną ekstrakcję enzymatyczną rozpuszczalnego błonnika, a następnie badano jego strukturę i aktywność biologiczną [8]. Z kolei w otrębach ryżowych analizowano sekwencyjne podejście alkaliczno-enzymatyczne, zwracając uwagę na

właściwości strukturalne, termiczne, krystaliczne i zastosowania żywnościowe włókna ^[9]. Dla użytkownika przemysłowego wniosek jest praktyczny: celulaza może przesuwać równowagę między frakcją nierozpuszczalną a bardziej dostępną strukturą włókna, ale efekt zależy od surowca i towarzyszących etapów obróbki.

W produktach zbożowych częściowa hydroliza włókna może zmieniać teksturę. Badanie nad całym brązowym ryżem analizowało połączenie hydrolizy celulazowej i fermentacji *Lactobacillus plantarum* P-8 właśnie pod kątem właściwości teksturalnych ^[10]. To dobry przykład zastosowania, w którym celem nie jest maksymalna degradacja, lecz kontrolowana zmiana odczucia produktu i podatności matrycy na fermentację.

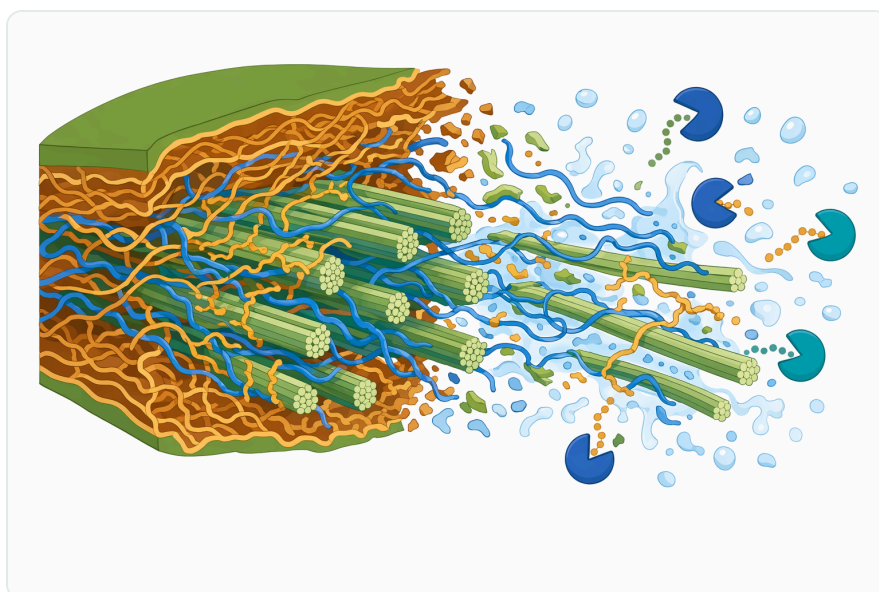


Figure 3. 전처리, 수화, 물리적 파쇄는 산성 셀룰라아제가 도달할 수 있는 셀룰로오스 부위의 수를 늘립니다.

Biomasa lignocelulozowa, bioetanol i biorafinerie

W biokonwersji biomasy celulaza jest jednym z kluczowych enzymów, ponieważ umożliwia przekształcanie frakcji celulozowej w cukry fermentowalne. Badanie nad łuską soi pokazało enzymatyczną hydrolizę tego surowca bez obróbki wstępnej oraz jej powiązanie ze zwiększeniem produkcji bioetanolu z wykorzystaniem bakterii fermentujących ksylozę ^[11]. To podkreśla znaczenie enzymów nie tylko dla samej hydrolizy, ale też dla dostępności substratów dla mikroorganizmów fermentacyjnych.

Inne prace koncentrują się na słomie kukurydzianej, słomie ryżowej i słomie pszennej. Celulaza z *Aspergillus glaucus* była optymalizowana pod kątem hydrolizy słomy kukurydzianej i ryżowej w celu zwiększenia uzysku cukrów redukujących ^[12]. Z kolei charakterystyka enzymów mikrobiologicznych

działających na słomę pszeniczną wskazuje, że skuteczność hydrolizy zależy od synergii różnych aktywności celulolitycznych ^[2].

W wysłodkach buraczanych, które są bogatym produktem ubocznym przemysłu cukrowniczego, badano efektywną hydrolizę z użyciem nowych kompleksów enzymatycznych ^[13]. Ten kierunek jest ważny, ponieważ materiały takie jak wysłodki, łuski, otręby czy resztki kokosowe zawierają mieszane polisacharydy i wymagają podejścia bardziej złożonego niż pojedynczy enzym działający na czystą celulozę.

Pasze, kiszonki i surowce włókniste

W paszach celuloza może wspierać dostępność składników uwieczonych w ścianach komórkowych, ale nie należy traktować jej jako prostego zamiennika wartościowego bilansowania dawki. W żywieniu zwierząt włókno pełni zarówno funkcje korzystne, jak i ograniczające: wpływa na fermentację, pasaż treści, sytość oraz dostępność energii. Współczesne omówienia żywienia prosiat podkreślają konieczność równoważenia korzyści i wyzwań związanych z włóknem, zamiast jego bezrefleksyjnego ograniczania ^[14].

W kiszonkach enzymy celulolityczne są badane jako element poprawy degradacji włókna i charakterystyki fermentacji. W pracy dotyczącej mieszanej kisonki z trawy królewskiej i słomy ryżowej analizowano wpływ celulazy oraz ksylanazy na fermentację, skład chemiczny i społeczność bakteryjną ^[15]. W innych badaniach nad kisonką ze słomy rzepakowej oceniano współregulację bakterii i enzymów w kontekście jakości fermentacji oraz degradacji włókna ^[16].

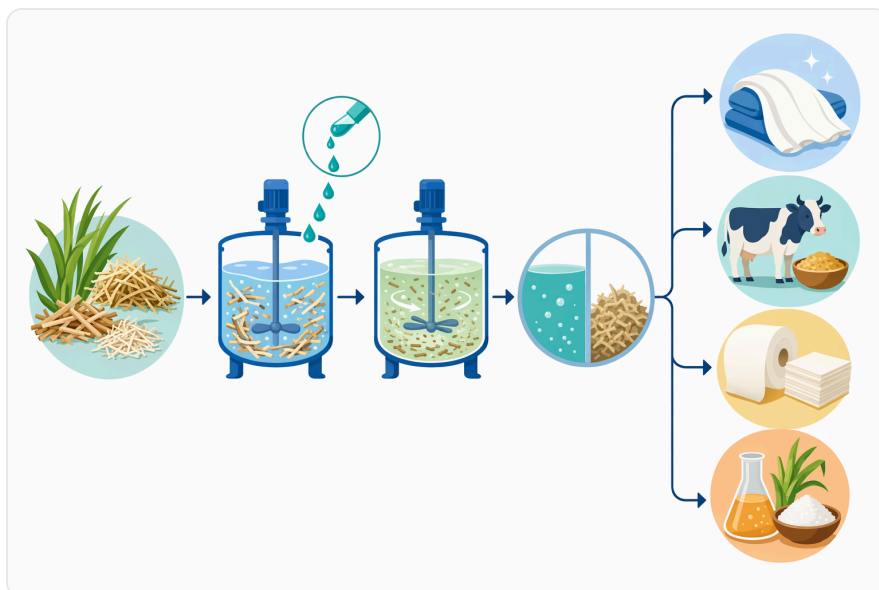


Figure 4. 바이오매스 전환에서는 전처리가 잔류물의 구조를 열어 주고, 셀룰라아제가 용해성 당을 방출하며, 이후 발효나 축매 공정을 통해 이 당을 바이오 기반 제품으로 전환합니다.

W środowisku zwacza degradacja włókna zależy od aktywności mikroorganizmów i enzymów, w tym celulaz. Analiza skórek czosnku i łodyg *Artemisia argyi* obejmowała charakterystykę degradacji w zwaczu, społeczności mikroorganizmów przyczepionych do cząstek oraz zmian aktywności celulazy [17]. Takie prace pokazują, że hydroliza włókna jest procesem biologicznie złożonym, w którym enzymy egzogenne muszą współgrać z matrycą surowca i mikrobiotą.

Tekstyli, włókna bambusowe i materiały celulozowe

W tekstyliach celulaza jest używana do powierzchniowej modyfikacji włókien bawełnianych i innych materiałów celulozowych. Kontrolowana hydroliza usuwa mikrowłókienka, wygładza powierzchnię i może poprawiać chwyt materiału. Kwaśne celulazy są szczególnie kojarzone z procesami, w których pożądanym jest wyraźny efekt powierzchniowy, choć nadmierne działanie może osłabiać włókno.

Badania nad immobilizacją celulazy na modyfikowanych nanokryształach celulozy dotyczyły poprawy elastyczności włókien bambusowych i miękkości tissue [18]. To pokazuje dwa ważne aspekty: po pierwsze, celulaza może zmieniać właściwości dotykowe materiałów celulozowych; po drugie, w zastosowaniach materiałowych kluczowa jest kontrola dawki procesowej, czasu kontaktu i stopnia hydrolizy, ponieważ celuloza jest jednocześnie substratem enzymu i nośnikiem wytrzymałości.

W przemyśle papierniczym częściej mówi się o kontrolowanej modyfikacji włókna niż o jego pełnym rozkładzie. Przegląd zastosowań alkalicznych celulaz w recyklingu masy papierniczej wskazuje na rolę enzymów w procesach związanych z włóknami i papierem [19]. Dla kwaśnej celulazy logika pozostaje

podobna: hydroliza ma być prowadzona tak, aby poprawić wybrane właściwości procesu lub produktu, nie niszcząc struktury materiału.

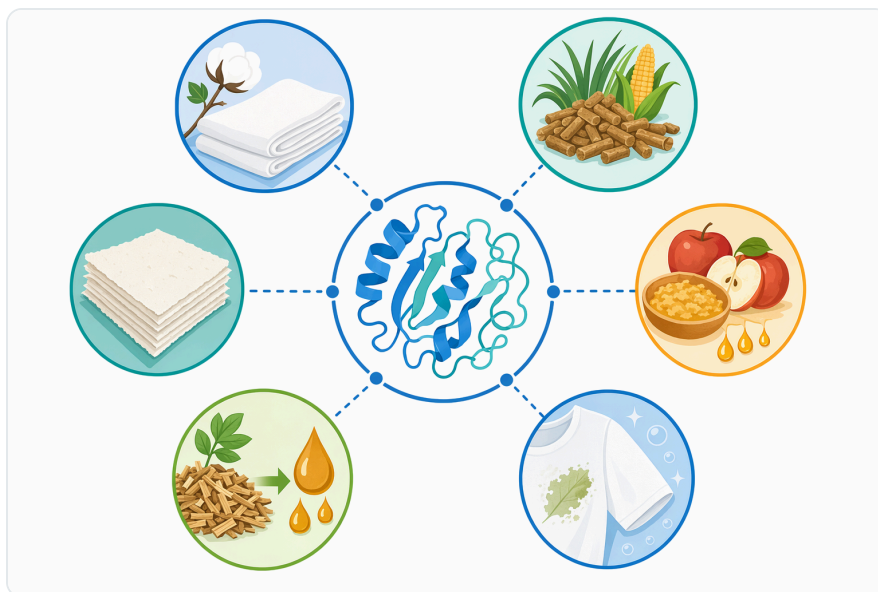


Figure 5. 산성 셀룰라아제는 바이오매스 당화, 식물 추출,식이섬유 변형, 사료가공, 섬유 마감, 펄프 또는 종이 섬유 처리에 활용될 수 있습니다.

Tabela porównawcza zastosowań kwaśnej celulozy

Obszar zastosowania	Główny cel technologiczny	Co dzieje się z włóknem	Typowe ograniczenie procesu
Owoce, warzywa, soki	Ułatwienie uwalniania soku i składników rozpuszczalnych	Częściowe naruszenie ściany komórkowej i spadek oporu tkanki	Celuloza jest tylko jednym ze składników ściany; często potrzebne są też enzymy pektynowe
Błonnik i produkty uboczne	Zmiana struktury, dyspersji i dostępności frakcji włókna	Fragmentacja celulozowego rusztowania, większa powierzchnia kontaktu z wodą	Efekt zależy od surowca, rozdrobnienia i udziału frakcji nierozpuszczalnej
Biomasa lignocelulozowa	Uwolnienie cukrów do fermentacji lub dalszej konwersji	Hydroliza dostępnej celulozy do krótszych fragmentów	Lignina i hemicelulozy ograniczają dostęp enzymu
Pasze i kiszonki	Wsparcie degradacji włókna oraz fermentacji	Rozluźnienie struktury ścian komórkowych	Wynik zależy od mikrobioty, składu dawki i charakteru surowca

Obszar zastosowania	Główny cel technologiczny	Co dzieje się z włóknem	Typowe ograniczenie procesu
Tekstyliia i papier	Powierzchniowa modyfikacja, miękkość, gładkość	Usuwanie lub osłabianie drobnych włókienek	Nadmierna hydroliza może obniżyć wytrzymałość

Synergia z innymi enzymami ściany komórkowej

W praktyce przemysłowej celulaza rzadko działa w izolacji od innych enzymów. Hemicelulozy, zwłaszcza ksylany, tworzą warstwę współorganizującą strukturę ściany komórkowej, a ich częściowy rozkład może zwiększać dostęp do celulozy. Przegląd dotyczący ksylanaz opisuje ich źródła mikrobiologiczne, klasyfikację i zastosowania przemysłowe, co podkreśla znaczenie enzymów hemicelulolitycznych obok celulaz ^[20].

Synergia jest szczególnie ważna w surowcach takich jak słoma, łuski, otręby, wysłodki, skórki owoców i odpady kokosowe. W badaniu nad zielonym odpadem kokosowym wykorzystywano komercyjne koktajle celulolityczne w postaci usieciowanych agregatów enzymatycznych, aby poprawić ponowne wykorzystanie biokatalizatorów w hydrolizie ^[21]. Choć immobilizacja nie jest konieczna w każdym zastosowaniu, przykład pokazuje, że w hydrolizie złożonej biomasy liczy się nie tylko sam enzym, ale również sposób jego użycia i kontaktu z substratem.

W biorafineriach i przetwórstwie włókna enzymy pomocnicze mogą pełnić rolę „otwieraczy” matrycy. Ferulazowe rozluźnianie połączeń między składnikami ściany komórkowej, ksylanazy degradujące hemicelulozę czy pektynazy rozkładające frakcję pektynową mogą zwiększać skuteczność celulazy. Badania nad inokulantem produkującym esterazę kwasu ferulowego w kiszonkach kukurydzianych wskazują, że poprawa degradacji włókna może być związana z modulacją różnorodności mikrobiologicznej i rozluźnianiem struktury ściany komórkowej ^[22].

Czynniki procesowe decydujące o skuteczności

Pierwszym czynnikiem jest dostępność celulozy. Enzym działa na powierzchniach, do których może dotrzeć, dlatego rozdrobnienie, uwodnienie i wcześniejsza obróbka materiału mają duże znaczenie. W substratach takich jak słoma czy łuski ograniczeniem może być nie brak celulozy, lecz jej osłonięcie przez ligninę i hemicelulozy.

Drugim czynnikiem jest profil pH i temperatura procesu. Kwaśna celulaza jest wybierana tam, gdzie środowisko reakcji jest kwaśne lub lekko kwaśne, jednak każdy enzym białkowy ma granice stabilności. Zbyt długie działanie, zbyt agresywne warunki lub nieodpowiedni skład matrycy mogą prowadzić do

spadku efektywności albo nadmiernego osłabienia włókna.



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

Trzecim czynnikiem jest czas kontaktu. Krótka obróbka może wystarczyć do modyfikacji powierzchni, podczas gdy głębsza hydroliza wymaga dłuższego kontaktu i większej dostępności substratu. W tekstyliach, papierze i produktach strukturalnych najważniejsze jest zatrzymanie reakcji na etapie, który daje pożądaną miękkość, gładkość lub podatność na obróbkę bez utraty integralności materiału.

Czwartym czynnikiem jest skład całego układu enzymatycznego. Jeśli celem jest hydroliza surowca o dużym udziale hemiceluloz, sama celulaza może nie zapewnić optymalnego wyniku. Jeśli celem jest ekstrakcja z owoców, często znaczenie mają też pektyny. Jeśli celem jest fermentacja biomasy, liczy się również zdolność mikroorganizmu do wykorzystania uwolnionych cukrów.

Realistyczne korzyści technologiczne

Najważniejszą zaletą kwaśnej celulazy jest możliwość prowadzenia selektywnej modyfikacji włókna w warunkach łagodniejszych niż wiele procesów chemicznych. Zamiast nieselektywnie rozkładać całą matrycę, enzym atakuje określony typ wiązania w celulozie. Dzięki temu może obniżać opór włókna, zwiększać dostępność składników i poprawiać przebieg procesu przy zachowaniu większej kontroli nad materiałem.

W przetwórstwie roślinnym korzyścią może być lepsza ekstrakcja i łatwiejsze oddzielanie frakcji ciekłej od stałej. W błonniku i produktach ubocznych — zmiana struktury oraz funkcjonalności włókna. W biomasie — większa podatność na scukrzanie i fermentację. W tekstyliach i papierze —

powierzchniowa modyfikacja, miękkość i poprawa właściwości dotykowych. W paszach i kiszonkach — wsparcie degradacji ścian komórkowych, pod warunkiem że enzym pasuje do składu surowca i procesu fermentacji.

Jednocześnie należy podkreślić ograniczenia. Celulaza nie usuwa ligniny, nie zastępuje ksylanazy w hydrolizie ksylanów i nie pełni funkcji pektynazy w surowcach bogatych w pektyny. Nie każdy wzrost stopnia hydrolizy jest korzystny: w materiałach strukturalnych zbyt głębokie cięcie włókna może obniżyć wytrzymałość, a w żywności zmienić teksturę bardziej, niż zakładano.

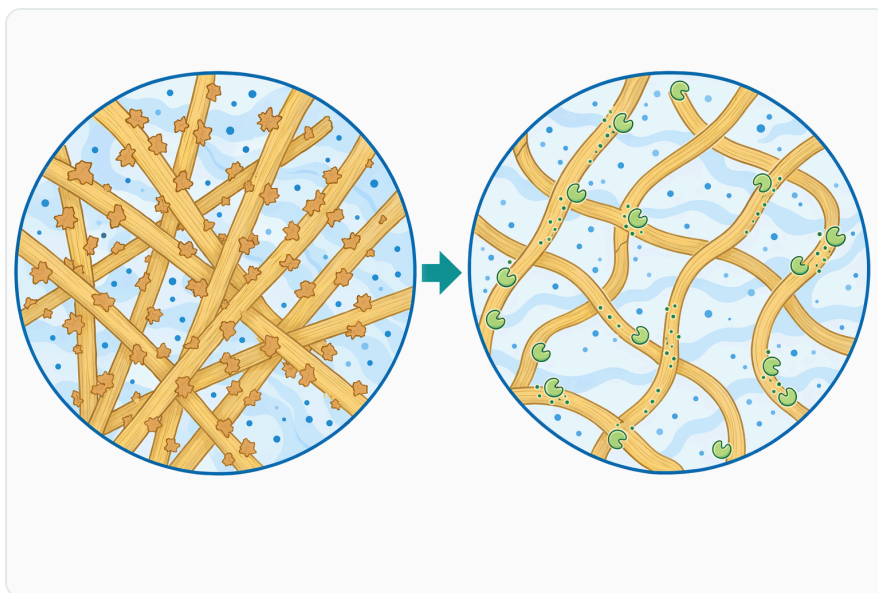


Figure 7. 펄프와 재활용 섬유에서 제어된 셀룰라아제 처리는 셀룰로오스를 당으로 완전히 전환하기보다는 접근 가능한 섬유 표면을 변형합니다.

Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber od Enzymes.bio

Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber oferowany przez Enzymes.bio należy traktować jako enzym procesowy do zastosowań profesjonalnych, przeznaczony do hydrolizy lub modyfikacji włókna celulozowego. Enzymes.bio jest dostawcą online, nie producentem enzymu ani laboratorium badawczym. Produkt jest sprzedawany bezpośrednio online w jednostkach 1 kg, a dokumenty CoA i SDS są dostarczane wraz z zamówieniem .

W zastosowaniach B2B najważniejsze jest dopasowanie funkcji enzymu do celu procesu: ekstrakcji, modyfikacji błonnika, przygotowania biomasy, fermentacji, obróbki tekstyliów lub pracy z materiałami celulozowymi. Kwaśna celulaza jest szczególnie użyteczna, gdy proces naturalnie przebiega w środowisku kwaśnym i gdy celem jest kontrolowane naruszenie celulozowego rusztowania bez przechodzenia do agresywnych warunków chemicznych.

Podsumowanie techniczne

Acid Cellulase Enzyme For Hydrolyzing Fiber jest praktycznym enzymem do selektywnej hydrolizy celulozy i modyfikacji włókna roślinnego w warunkach kwaśnych. Jego główna wartość polega na tym, że może zwiększać dostępność struktury ściany komórkowej, ułatwiać ekstrakcję, wspierać fermentację, poprawiać podatność biomasy na scukrzanie oraz modyfikować powierzchnię materiałów celulozowych.

Najlepsze wyniki uzyskuje się wtedy, gdy celuloza jest dostępna dla enzymu, a proces uwzględnia złożoność surowca. W owocach, otrębach, łuskach, słomie, wysłodkach, kiszunkach, tekstyliach i papierze celuloza działa na jeden z kluczowych elementów strukturalnych, ale nie zastępuje całej architektury enzymów ściany komórkowej. Dlatego kwaśną celulazę warto rozumieć jako precyzyjne narzędzie procesowe: skuteczne w hydrolizie włókna, ale wymagające właściwego kontekstu technologicznego.

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

Bibliografia

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

1. Sarwan, J., Vijaya, Uddin, N., & K, J. B. (2024). Enhanced Production of Microbial Cellulases as an Industrial Enzyme - A Short Review. *Journal of Multidisciplinary Research Advancements*.
2. Wang, Z., Tang, H., Li, Y., Yang, B., Liang, X., Gong, H., Chen, Y., ... et al. (2024). Characterization and synergistic activity of heterologously expressed microbial-derived endoglucanase and bifunctional cellulase on wheat straw. *International Journal of Biological Macromolecules*, 282 Pt 6, 137485 .
3. Tian, Y., Wu, T., Sheng, Y., Li, L., & Wang, C. (2023). Effects of cavitation-jet technology combined with enzyme treatment on the structure properties and functional properties of OKARA insoluble dietary fiber. *Food Chemistry*, 423, 136286 .
4. Abdella, M. A. A., & Ibrahim, G. E. (2024). Application of statistical designs strategy to improve cellulase production using agro-waste residue by a novel isolate Bacillus licheniformis strain-MA1 and assessing the enzyme effect on apple

juice quality. *BMC Microbiology*, 24.

5. Teshome, E., Teka, T., Nandasiri, R., Rout, J., Harouna, D. V., Astatkie, T., & Urugo, M. M. (2023). Fruit By-Products and Their Industrial Applications for Nutritional Benefits and Health Promotion: A Comprehensive Review. *Sustainability*.
6. Lv, J., Li, L., Liang, Z., Wu, W., Zhang, N., & Jia, Q. (2025). Extraction of Bound Polyphenols from *Elaeagnus angustifolia* L. by Ultrasonic-Assisted Enzymatic Hydrolysis and Evaluation of Its Antioxidant Activity In Vitro. *Foods*, 14.
7. Liu, S., Zhang, L., Wang, M., Liu, W., Cui, R., Du, B., & Song, L. (2025). Effect of different pretreatment methods on soluble dietary fiber macromolecules extracted from Korla fragrant pear (*Pyrus sinkiangensis* Yü): Structure, physicochemical properties, and biological activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 140901 .
8. Song, Y., Sun, G., Wang, D., Chen, J., Lv, J., Jiang, S., Zhang, G., ... et al. (2024). Optimization of Composite Enzymatic Extraction, Structural Characterization and Biological Activity of Soluble Dietary Fiber from *Akebia trifoliata* Peel. *Molecules*, 29.
9. Shaikh, J. R., Chakraborty, S., Odaneth, A. A., & Annapure, U. (2024). A sequential approach of alkali enzymatic extraction of dietary fiber from rice bran: Effects on structural, thermal, crystalline properties, and food application. *Food Research International*, 193, 114847 .
10. Lu, S., Li, K., Su, Q., Wen, Y., Li, H., Wang, J., & Sun, B. (2025). Exploring the Combination Effect of Cellulase Hydrolysis and *Lactobacillus plantarum* P-8 Fermentation on the Textural Properties of Whole Brown Rice. *Food Frontiers*.
11. Kim, D., Correll, E., Kabongo, E., Jeong, S., & Yoo, C. G. (2025). Enzymatic Hydrolysis of Soybean Hull Without Pretreatment and Its Enhancement of Bioethanol Production Using Xylose-Fermenting *Escherichia coli* (FBR5). *Frontiers in Bioscience*, 17 2, 38126 .
12. Chen, L., Wei, Y., Shi, M., Li, Z., & Zhang, S. (2020). Statistical optimization of a cellulase from *Aspergillus glaucus* CCHA for hydrolyzing corn and rice straw by RSM to enhance yield of reducing sugar. *Biotechnology Letters*, 42, 583 - 595.
13. Komarova, M., Semenova, M. V., Volkov, P., Shashkov, I., Rozhkova, A., Zorov, I. N., Kurzeev, S. A., ... et al. (2025). Efficient Hydrolysis of Sugar Beet Pulp Using Novel Enzyme Complexes. *Agronomy*.
14. Petry, A. (2025). 146 Rethinking fiber in nursery pig nutrition - balancing benefits and challenges. *Journal of Animal Science*.
15. Qiu, C., Liu, N., Diao, X., He, L., Zhou, H., & Zhang, W. (2024). Effects of Cellulase and Xylanase on Fermentation Characteristics, Chemical Composition and Bacterial Community of the Mixed Silage of King Grass and Rice Straw. *Microorganisms*, 12.
16. Xiao, Y., Sun, L., Dong, H., Song, W., Han, Z., Zong, S., Zhou, X., ... et al. (2025). Functional Prediction of Bacteria–Enzyme Co-Regulation on Rapeseed Straw Silage: Fermentation Quality and Fiber Degradation. *Agriculture*.
17. Gu, M., Liu, H., Jiang, X., Qiu, S., Li, K., Lu, J., Zhang, M., ... et al. (2024). Analysis of Rumen Degradation Characteristics, Attached Microbial Community, and Cellulase Activity Changes of Garlic Skin and *Artemisia argyi* Stalk. *Animals*, 14.
18. Qin, T., Liu, L., Cao, H., Lu, B., Nie, S., Cheng, Z., Zhang, X., ... et al. (2023). Polydopamine modified cellulose nanocrystals (CNC) for efficient cellulase immobilization towards advanced bamboo fiber flexibility and tissue softness. *International Journal of Biological Macromolecules*, 126734 .
19. Yakubu, A., & Vyas, A. (2023). INDUSTRIAL APPLICATION OF ALKALINE CELLULASE ENZYMES IN PULP AND PAPER RECYCLING: A REVIEW. *Cellulose Chemistry and Technology*.

20. Kaur, D., Joshi, A., Sharma, V., Batra, N., & Sharma, A. (2023). An insight into microbial sources, classification, and industrial applications of xylanases: A rapid review. *Biotechnology and applied biochemistry*, 70, 1489 - 1503.
21. Morais, J. R. F., Costa, I. O., Padilha, C. E. A., Rios, N. S., & Santos, E. S. (2025). Improving Reusability of Biocatalysts by Exploiting Cross-Linked Enzyme Aggregates (CLEAs) with Commercial Cellulolytic Cocktails for Hydrolysis of Green Coconut Waste. *Sustainability*.
22. Yu, Y., Guo, X., Li, H., Yu, C., Liu, H., & Guo, W. (2025). Ferulic Acid Esterase-Producing Inoculant Improves Fiber Degradation and Modulates Microbial Diversity in Corn Bran Silage and Whole-Plant Corn Silage. *Microorganisms*, 13.

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.