

Mannanase Digestive Enzyme do redukcji lepkości w surowcach roślinnych i paszach

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

Mannanase Digestive Enzyme – Viscosity Reduction Enzyme to preparat enzymatyczny oparty na aktywności mannanazy, stosowany tam, gdzie mannany, galaktomannany lub glukomannany podnoszą lepkość mieszanin i ograniczają dostępność składników roślinnych. Enzym działa przez hydrolizę wiązań w polisacharydach mannanowych, skracając długie łańcuchy cukrowe i zmniejszając ich zdolność do zagęszczania układu. W zastosowaniach B2B oznacza to potencjał w żywieniu zwierząt, przetwarzaniu biomasy, płynach technologicznych, detergentach oraz procesach, w których problemem jest lepkość pochodząca z gum roślinnych.

Czym jest mannanaza i dlaczego jest opisywana jako enzym redukujący lepkość?

Mannanaza, najczęściej omawiana w literaturze jako **β -mannanaza**, należy do enzymów hydrolizujących mannany — grupę nieskrobiowych polisacharydów obecnych w ścianach komórkowych roślin, frakcjach hemicelulozowych, gumie guar, mączce guar, glukomannanie konjac, galaktomannanach oraz niektórych komponentach paszowych. Jej rola technologiczna wynika z tego, że mannany są cząsteczkami silnie wiążącymi wodę; przy wysokiej masie cząsteczkowej zwiększają lepkość, pogarszają przepływ, utrudniają filtrację i mogą ograniczać dostęp enzymów lub mikroorganizmów do pozostałych składników matrycy roślinnej ^[1].

Określenie “**Digestive Enzyme**” w nazwie produktu należy rozumieć funkcjonalnie: mannanaza wspiera rozkład trudno trawionych lub trudno dostępnych polisacharydów roślinnych, zwłaszcza w matrycach paszowych opartych na śrutach, nasionach, ziarnach i produktach ubocznych przetwórstwa roślinnego. Nie oznacza to, że enzym jest uniwersalnym dodatkiem do każdej receptury; jego przydatność zależy od tego, czy dana matryca rzeczywiście zawiera frakcję mannanową w ilości istotnej technologicznie lub żywieniowo. Badania nad β -mannanazą w żywieniu drobiu, kaczek, prosiąt i bydła mlecznego koncentrują się właśnie na wpływie tej frakcji na lepkość treści pokarmowej, wykorzystanie energii oraz odpowiedź jelitową ^[2].

Określenie “**Viscosity Reduction Enzyme**” odnosi się do najlepiej uchwytynego efektu fizykochemicznego: rozcięcie długich łańcuchów mannanowych obniża ich efektywną masę cząsteczkową i objętość hydrodynamiczną. W praktyce krótsze oligomery mannanowe słabiej zagęszczają wodę, przez co układ może łatwiej się mieszać, pompować, filtrować lub fermentować. Podobną logikę wykorzystuje się w procesach przetwarzania surowców skrobiowo-włóknistych, gdzie enzymy degradujące ściany komórkowe wspierają jednoczesne upłynnienie i scukrzanie materiału o wysokiej zawartości części stałych [3].

Mechanizm działania: od długiego mannanu do krótszych oligosacharydów

Podstawowym substratem mannanazy jest szkielet zbudowany głównie z reszt mannozy połączonych wiązaniami β -1,4-glikozydowymi. W galaktomannanach do tego szkieletu przyłączone są boczne reszty galaktozy, natomiast w glukomannanach — takich jak konjac glucomannan — w łańcuchu występują zarówno jednostki mannozy, jak i glukozy. Dla procesu technologicznego kluczowe jest to, że nawet niewielka liczba cięć w długim łańcuchu może radykalnie zmniejszyć zdolność cząsteczki do tworzenia lepkiej sieci w wodzie [4].

β -mannanaza działa zwykle jako enzym endo-typowy: rozcina wewnętrzne wiązania w łańcuchu polisacharydu, zamiast usuwać pojedyncze cukry wyłącznie z końców cząsteczki. Taki mechanizm jest szczególnie korzystny dla redukcji lepkości, ponieważ szybciej obniża długość łańcuchów odpowiedzialnych za zagęszczanie. Produktem są mieszaniny krótszych fragmentów, w tym mannooligosacharydów; dalszy rozkład do cukrów prostych może wymagać obecności innych aktywności enzymatycznych, zależnie od składu substratu i celu procesu [5].



Figure 1. 만난분해효소는 β -만난 골격의 내부 β -1,4 결합을 가수분해해, 물을 많이 붙잡는 긴 고분자를 더 짧은 조각으로 전환한다.

W matrycy roślinnej mannanaza nie działa w izolacji od struktury surowca. Mannany mogą być osadzone w ścianie komórkowej razem z celulozą, ksylanami, ligniną, białkami i skrobią. Dlatego w wielu procesach przemysłowych efekt upłynnienia bywa silniejszy, gdy mannanaza współdziała z innymi enzymami rozkładającymi polisacharydy ściany komórkowej, choć sama mannanaza pozostaje enzymem najbardziej ukierunkowanym na frakcję mannanową. Prace nad wieloskładnikową hydrolizą biomasy pokazują, że połączenie enzymów degradujących skrobię i ściany komórkowe może jednocześnie obniżyć lepkość i zwiększać dostępność fermentowalnych cukrów [3].

Dlaczego mannany powodują problemy w procesach B2B?

Mannany są użyteczne jako zagęstniki, stabilizatory i składniki strukturalne roślin, ale w wielu procesach stają się problemem. Wysoka lepkość oznacza większe opory mieszania, trudniejsze dozowanie, gorsze przenoszenie ciepła, wolniejszą separację faz i wyższe ryzyko niejednorodności partii. W procesach fermentacyjnych może ograniczać transport masy, a w układach paszowych — zwiększać lepkość treści pokarmowej i utrudniać kontakt enzymów trawiennych z substratem [6].

W paszach mannanowa frakcja nieskrobiowych polisacharydów jest szczególnie istotna w surowcach roślinnych bogatych w hemicelulozy i gumy. Z punktu widzenia zwierząt monogastrycznych problemem nie jest wyłącznie sama obecność włókna, ale jego rozpuszczalność, zdolność do wiązania wody i wpływ na lepkość treści jelitowej. Badania z β -mannanazą w dietach drobiowych i kaczyc analizują właśnie takie parametry, jak lepkość treści pokarmowej, pH jelitowe, wykorzystanie energii oraz wyniki produkcyjne [7].

W procesach spożywczych i biotechnologicznych mannany mogą utrudniać odzysk cieczy z materiału roślinnego, obniżać szybkość filtracji lub zwiększać obciążenie pomp. Przykładem są układy o bardzo wysokiej zawartości części stałych, takie jak pulpa maniokowa lub inne surowce roślinne przetwarzane na etanol. Zastosowanie enzymów degradujących ściany komórkowe w takich matrycach jest opisywane jako sposób na jednoczesną redukcję lepkości i poprawę scukrzania, co ma znaczenie przy fermentacji o wysokiej gęstości surowca [8].

Główne zastosowania mannanazy w redukcji lepkości i rozkładzie surowców roślinnych

Obszar zastosowania	Typowy problem procesowy	Rola mannanazy	Charakter dowodów
Pasze dla drobiu, kaczek i prosiąt	Lepkość treści pokarmowej, ograniczona	Hydroliza mannanów i galaktomannanów, wsparcie	Badania żywieniowe z β -mannanazą w dietach dla

Obszar zastosowania	Typowy problem procesowy	Rola mannanazy	Charakter dowodów
	dostępność energii i składników z surowców roślinnych	trawienia frakcji nieskrobiowych polisacharydów	zwierząt monogastrycznych [2]
Żywienie bydła mlecznego	Wykorzystanie włókna i komponentów roślinnych w dawce	Wsparcie rozkładu frakcji mannanowej i potencjalne oddziaływanie na efektywność żywienia	Przeglądy i badania sektorowe dotyczące β -mannanazy w żywieniu bydła [9]
Fermentacja i biopaliwa	Zbyt lepka pulpa, ograniczone mieszanie i transport masy	Upłynnienie frakcji ściany komórkowej jako element mieszaniny enzymów	Badania nad redukcją lepkości surowców roślinnych przy wysokiej zawartości części stałych [3]
Przetwarzanie biomasy lignocelulozowej	Ograniczona dostępność celulozy i hemiceluloz	Usuwanie lub osłabianie frakcji mannanowej w hemicelulozie	Badania nad synergicznym działaniem enzymów w biokonwersji lignocelulozy [10]
Papier i celuloza	Trudności w delignifikacji, bieleniu i modyfikacji włókien	Współdziałanie z enzymami takimi jak ksylanaza i lakaza	Prace nad synergicznym bieleniem masy kraftowej z udziałem mannanazy [11]
Układy zawierające gumę guar lub glukomannan	Zbyt wysoka lepkość żelu lub roztworu	Skracanie łańcuchów polisacharydowych i kontrolowane upłynnienie	Badania nad hydrolizowanymi glukomannanami i enzymatycznym obniżaniem masy cząsteczkowej [4]

Zastosowanie w paszach: enzym trawienny dla matryc roślinnych

W sektorze paszowym mannanaza jest rozpatrywana jako enzym wspierający wykorzystanie surowców roślinnych, zwłaszcza w dietach zawierających składniki bogate w nieskrobiowe polisacharydy. Dla drobiu i trzody kluczowe jest to, że zwierzęta te nie wytwarzają w wystarczającym stopniu endogennych enzymów rozkładających wiele frakcji hemicelulozowych. Dodatek β -mannanazy może więc ograniczać negatywny wpływ mannanów na lepkość treści pokarmowej i dostępność składników odżywczych, jeżeli receptura zawiera odpowiednie substraty [12].

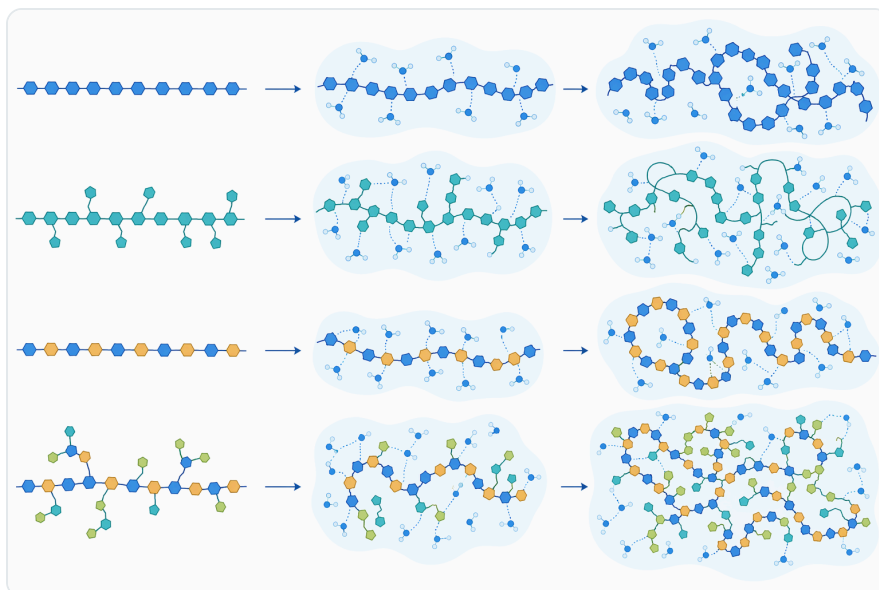


Figure 2. β -만난의 구조가 서로 다르면 골격에 효소가 접근하기 쉬운 정도와 수화된 고분자가 만들어낼 수 있는 점도의 수준도 달라진다.

Badania na kaczkach Pekin analizowały wpływ komercyjnego produktu β -mannanazowego na wyniki produkcyjne, pH jelitowe i lepkość treści pokarmowej. Znaczenie takich badań polega na tym, że nie ograniczają się do samej hydrolizy *in vitro*, lecz łączą mechanizm enzymatyczny z reakcją organizmu zwierzęcia. W praktyce paszowej interpretacja wyników wymaga jednak uwzględnienia składu diety, wieku zwierząt, rodzaju użytych komponentów i poziomu energii w recepturze [2].

W dietach dla brojlerów β -mannanaza jest badana również w kontekście ograniczenia energii metabolicznej lub niedoborów aminokwasów. Celem nie jest „magiczne” zwiększenie wartości każdego surowca, lecz zmniejszenie bariery tworzonej przez określone polisacharydy i poprawa dostępu do energii oraz składników związanych z matrycą roślinną. Prace z dietami o zmienionej wartości energetycznej pokazują, że ocena enzymu musi obejmować zarówno wyniki wzrostu, jak i wskaźniki zdrowia jelit oraz odpowiedzi immunologicznej [7].

W żywieniu prosiąt po odsadzeniu zastosowanie β -mannanazy badano w dietach o obniżonej zawartości energii netto. Wyniki takich prac są istotne dla klientów B2B, ponieważ wskazują na możliwość projektowania receptur, w których enzym pomaga utrzymać efektywność przy zmienionej wartości energetycznej paszy. Nie oznacza to jednak, że ta sama odpowiedź wystąpi w każdej mieszance; zależy ona od udziału surowców mannanowych, strawności białka, poziomu włókna i ogólnej architektury receptury [13].

U bydła mlecznego mannanaza jest rozpatrywana szerzej: jako narzędzie wspierające wykorzystanie komponentów roślinnych i efektywność żywienia, a także potencjalnie zmniejszające straty związane z niepełnym rozkładem frakcji włóknistej. W przeciwieństwie do zwierząt monogastrycznych,

przeżuwacze dysponują mikrobiotą żwacza, dlatego interpretacja działania enzymu musi uwzględniać interakcję z fermentacją mikrobiologiczną, strukturą dawki i tempem pasażu treści pokarmowej [9].

Redukcja lepkości w biotechnologii, fermentacji i przetwarzaniu biomasy

W technologiach fermentacyjnych wysoka lepkość nie jest jedynie problemem mechanicznym. Ogranicza transport substratów do komórek mikroorganizmów, zmniejsza efektywność wymiany ciepła i utrudnia utrzymanie jednorodnych warunków w reaktorze. W procesach o wysokiej zawartości suchej masy nawet częściowa hydroliza polisacharydów ściany komórkowej może poprawić mieszalność i umożliwić bardziej stabilną fermentację [8].

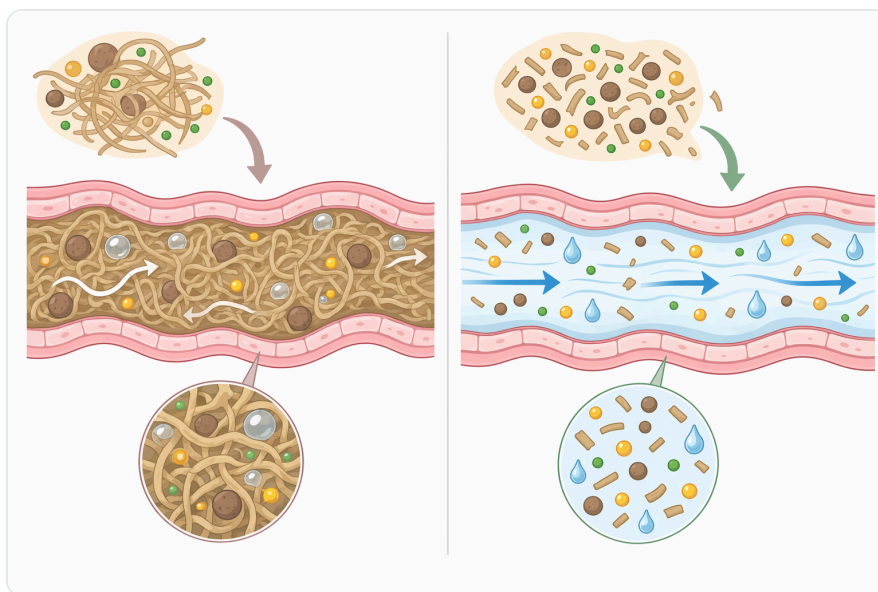


Figure 3. 만난분해효소는 자일란분해효소, β -글루칸분해효소, 셀룰라아제, 펙틴분해효소와 구별되며, 이는 각 효소가 서로 다른 식물 다당류 계열을 표적으로 하기 때문이다.

Mannanaza może być jednym z enzymów wykorzystywanych w przygotowaniu biomasy lignocelulozowej, zwłaszcza gdy surowiec zawiera hemicelulozy bogate w mannany. W takich układach jej zadaniem jest nie tylko wytworzenie rozpuszczalnych oligomerów, ale także odsłonięcie innych frakcji ściany komórkowej. Przetwarzanie lignocelulozy często wymaga konsorcjum enzymatycznego, ponieważ celuloza, ksylany, mannany i lignina tworzą strukturę, której nie da się efektywnie rozbić pojedynczą aktywnością enzymatyczną [10].

Badania nad jednoczesnym scukrzaniem i redukcją lepkości pulpy maniokowej pokazują, że wieloskładnikowe enzymy rozkładające skrobię i ściany komórkowe mogą istotnie zmieniać właściwości reologiczne surowca. Choć nie jest to przykład działania samej mannanazy, dobrze

ilustruje logikę przemysłową: redukcja lepkości nie jest celem abstrakcyjnym, lecz warunkiem efektywnego mieszania, dozowania, fermentacji i odzysku produktu końcowego [3].

Glukomannan konjac, galaktomannany i guma guar jako substraty modelowe

Glukomannan konjac jest jednym z najlepiej rozpoznawalnych przykładów polisacharydu, którego właściwości zależą od masy cząsteczkowej i stopnia hydrolizy. Enzymatyczne skracanie łańcuchów glukomannanu zmienia jego rozpuszczalność, lepkość i profil oligosacharydów. W zastosowaniach technologicznych oznacza to możliwość przejścia od bardzo lepkiego zagęstnika do mniej lepkiej mieszaniny krótszych frakcji, przy zachowaniu specyficznego charakteru cukrowego materiału [4].

Galaktomannany, w tym frakcje obecne w gumie guar, są szczególnie ważne dla branż, w których lepkość jest zarówno funkcją użytkową, jak i problemem. Guma guar może być stosowana jako zagęstnik, ale gdy trzeba ją usunąć lub upłynnić, β -mannanaza staje się logicznym narzędziem selektywnej hydrolizy. Z punktu widzenia procesu enzymatycznego istotne jest, że stopień podstawienia galaktozą wpływa na dostęp enzymu do szkieletu mannanowego, dlatego różne galaktomannany mogą reagować z różną szybkością [1].

W praktyce przemysłowej należy odróżniać **obniżenie lepkości** od pełnego rozkładu polisacharydu do cukrów prostych. Do poprawy przepływu często wystarczy ograniczona liczba cięć w łańcuchu; do uzyskania wysokiego udziału monomerów potrzebne mogą być dodatkowe aktywności enzymatyczne i dłuższy czas kontaktu. To rozróżnienie jest ważne przy projektowaniu procesów paszowych, fermentacyjnych i czyszczących, ponieważ nadmierna hydroliza nie zawsze jest potrzebna ani ekonomicznie uzasadniona.



Figure 4. 사료 및 소화 관련 분야에서 만난분해효소는 β -만난이 소화물의 점도를 높이거나 영양소 접근성을 낮출 수 있는 식물 유래 원료에 주로 활용된다.

Papier, celuloza i procesy włókniste

W przemyśle papierniczo-celulozowym mannanaza jest interesująca, ponieważ część hemiceluloz w drewnie iglastym i masach włóknistych ma charakter mannanowy. Usunięcie lub modyfikacja tej frakcji może poprawiać dostęp innych reagentów i enzymów do włókien, a także wspierać procesy bielenia. Badania nad połączeniem lakazy, ksylanazy i mannanazy w bieleniu masy kraftowej z drewna iglastego wskazują na synergiczny charakter takiego podejścia [11].

Warto podkreślić, że w tym obszarze mannanaza rzadko jest rozpatrywana jako samodzielna odpowiedź na wszystkie problemy procesu. Jej znaczenie wynika z selektywności: rozkłada określoną frakcję hemicelulozy bez konieczności agresywnej chemicznej degradacji całej matrycy. Z perspektywy technologicznej jest to szczególnie cenne tam, gdzie celem jest modyfikacja włókna przy możliwie kontrolowanym wpływie na celulozę i parametry wytrzymałościowe papieru.

Detergenty, czyszczenie i usuwanie gum roślinnych

W detergentach i środkach czyszczących mannanaza może być stosowana do rozkładu zabrudzeń lub filmów zawierających gumy roślinne. Typowy problem polega na tym, że galaktomannany i podobne polisacharydy tworzą lepką warstwę wiążącą cząstki brudu z powierzchnią. Hydroliza takiego „kleju” zmniejsza przyczepność zabrudzeń i ułatwia ich odspojenie podczas mycia lub prania.

Zastosowania detergentowe wymagają jednak innego profilu użytkowego niż pasze czy fermentacja. Enzym musi zachowywać funkcjonalność w obecności surfaktantów, soli, składników alkalicznych i zmiennych temperatur procesu. Dlatego dane z żywienia zwierząt lub bioprzetwarzania biomasy nie powinny być automatycznie przenoszone na formułacje czyszczące; wspólny jest mechanizm hydrolizy mannanów, ale warunki pracy enzymu są inne.

Czynniki decydujące o skuteczności mannanazy

Najważniejszym warunkiem skuteczności jest obecność właściwego substratu. Jeżeli lepkość pochodzi głównie ze skrobi, pektyn, białek, tłuszczów, syntetycznych polimerów lub celulozy krystalicznej, sama mannanaza może dać ograniczony efekt. Jej zastosowanie jest najbardziej uzasadnione wtedy, gdy problem wynika z mannanów, galaktomannanów, glukomannanów albo mieszanin hemiceluloz zawierających znaczną frakcję mannanową.

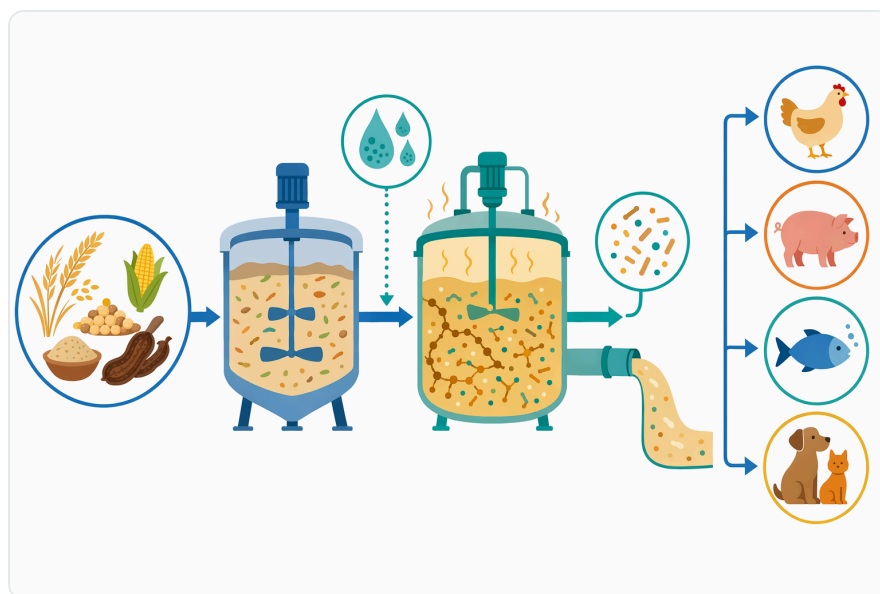


Figure 5. 수화된 식물 원료 가공에서 만난분해효소 처리는 이후의 혼합, 펄핑, 여과, 분리 또는 제형화 공정 전에 만난 고분자를 더 짧게 만들 수 있다.

Drugim czynnikiem jest dostęp enzymu do substratu. W suchym proszku reakcja praktycznie nie zachodzi; potrzebna jest faza wodna lub odpowiednia wilgotność, aby enzym i polisacharyd mogły się spotkać. W matrycach o wysokiej zawartości części stałych mieszanie, czas kontaktu i stopień rozdrobnienia surowca mogą być równie ważne jak sama obecność enzymu. Badania nad hydrolizą surowców paszowych i biomasowych konsekwentnie wskazują, że efekt enzymatyczny zależy od całej matrycy, a nie tylko od nazwy enzymu [14].

Trzecim elementem jest zgodność warunków procesu z właściwościami konkretnego preparatu. Enzymy jako białka mają określone zakresy stabilności, a ich aktywność może zmieniać się pod wpływem temperatury, pH, jonów, konserwantów, rozpuszczalników, surfaktantów lub długiego przechowywania w roztworze. Dlatego w dokumentach technicznych należy odróżniać ogólną funkcję β -mannanazy od gwarantowanego efektu w dowolnej formulacji.

Interpretacja dowodów: co jest dobrze potwierdzone, a co zależy od aplikacji?

Najmocniej potwierdzony jest sam mechanizm: β -mannanaza hydrolizuje mannanowe polisacharydy i skraca ich łańcuchy. Ten mechanizm bezpośrednio wyjaśnia, dlaczego enzym może obniżać lepkość układów zawierających gumę guar, glukomannan lub inne frakcje hemicelulozowe. Badania nad enzymatycznie hydrolizowanymi glukomannanami pokazują, że zmiana masy cząsteczkowej i struktury oligosacharydów przekłada się na inne właściwości funkcjonalne materiału ^[4].

Dobrze udokumentowane są także zastosowania paszowe, choć wyniki nie są identyczne w każdej recepturze. W badaniach na drobiu, kaczkach i prosiętach oceniano wpływ β -mannanazy na lepkość treści pokarmowej, wykorzystanie energii, parametry jelitowe oraz wyniki produkcyjne. Dla klienta B2B oznacza to, że enzym ma racjonalne podstawy stosowania w dietach roślinnych, ale jego wartość powinna być interpretowana przez pryzmat konkretnego składu paszy ^[13].

Dowody z biopaliw, biomasy i papiernictwa pokazują natomiast, że mannanaza najlepiej wpisuje się w procesy wieloenzymatyczne. W takich zastosowaniach jest elementem układu rozkładającego złożoną strukturę roślinną, a nie jedynym katalizatorem odpowiedzialnym za całą konwersję. Synergia z innymi enzymami jest szczególnie widoczna w obróbce mas włóknistych i lignocelulozy ^[11].

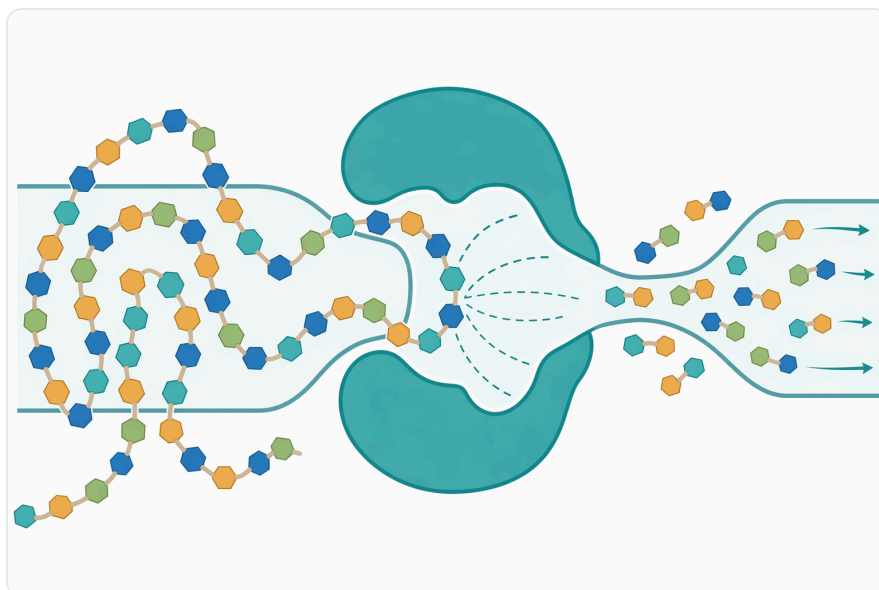


Figure 6. 부분 가수분해를 통해 개별 당으로 완전히 전환하지 않고도 만난올리고당과 더 짧은 조각을 생성할 수 있다.

Bezpieczeństwo i odpowiedzialne użycie w zastosowaniach przemysłowych

Przemysłowe enzymy mikrobiologiczne są zwykle oceniane przez pryzmat źródła mikroorganizmu, procesu produkcji, czystości funkcjonalnej i przeznaczenia aplikacyjnego. Literatura opisująca proces GRAS dla enzymów przemysłowych podkreśla, że ocena bezpieczeństwa dotyczy konkretnego enzymu, organizmu produkcyjnego i sposobu użycia, a nie samej nazwy klasy enzymatycznej ^[15]. Dlatego nie należy automatycznie zakładać, że każdy preparat mannanazy ma taki sam status regulacyjny w każdej branży i jurysdykcji.

W zastosowaniach B2B istotne jest również rozróżnienie między funkcją technologiczną a deklaracją żywieniową lub zdrowotną. Mannanaza może wspierać rozkład mannanów w paszach lub surowcach roślinnych, ale nie powinna być opisywana jako środek leczniczy ani uniwersalny preparat poprawiający trawienie niezależnie od diety. W przypadku produktów dla zwierząt lub żywności ostateczna interpretacja zależy od lokalnych przepisów, kategorii zastosowania i dokumentacji partii.

Informacja o produkcji Enzymes.bio

Mannanase Digestive Enzyme – Viscosity Reduction Enzyme dostarczany przez Enzymes.bio jest produktem enzymatycznym przeznaczonym do zastosowań, w których celem jest rozkład frakcji mannanowych i redukcja lepkości wynikającej z obecności takich polisacharydów. Enzymes.bio działa jako **dostawca**, a nie producent ani laboratorium badawcze. Produkt jest dostępny online w jednostkach **1 kg**, a **CoA oraz SDS są dostarczane wraz z zamówieniem**.

Najważniejszą informacją techniczną dla użytkownika jest mechanizm: mannanaza skraca łańcuchy mannarów, galaktomannarów i glukomannarów, przez co może ograniczać lepkość, poprawiać dostępność składników roślinnych i wspierać wybrane procesy separacji, fermentacji, czyszczenia lub żywienia. Efekt praktyczny zależy jednak od matrycy, wilgotności, czasu kontaktu i tego, czy problem technologiczny rzeczywiście wynika z frakcji mannarowej. Właśnie dlatego produkt należy traktować jako ukierunkowany enzym do konkretnych substratów mannarowych, a nie jako ogólny środek do redukcji lepkości wszystkich płynów.

Zamów Mannanase Digestive Enzyme - Viscosity Reduction Enzyme 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 Mannanase Digestive Enzyme - Viscosity Reduction Enzyme →](#)

Bibliografia

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

1. Saleh, S. A. A., Mostafa, F., Ahmed, S. A., Zaki, E. R., Salama, W. H., & Wahab, W. A. A. (2024). Date nawah powder as a promising waste for β -mannanase production from a new isolate *Aspergillus niger* MSSFW, statistically improving production and enzymatic characterization.. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134447 .
2. Park, J., Knappe, K., & Carey, J. (2019). Effects of a Commercial Beta-Mannanase Product on the Performance, Intestinal pH, and Digesta Viscosity of Pekin Ducks. *Journal of Applied Poultry Research*, 28, 447-453.
3. Poonsrisawat, A., Paemane, A., Wanlapatit, S., Piyachomkwan, K., Eurwilaichitr, L., & Champreda, V. (2017). Simultaneous saccharification and viscosity reduction of cassava pulp using a multi-component starch- and cell-wall degrading enzyme for bioethanol production. *3 Biotech*, 7, 1-10.
4. Yin, J., Ma, L., Xie, M., Nie, S., & Wu, J. (2020). Molecular properties and gut health benefits of enzyme-hydrolyzed konjac glucomannans. *Carbohydrate Polymers*, 237, 116117 .
5. Liu, J., Shi, J., Gao, J., Shi, R., Zhu, J., Jensen, M. S., Li, C., ... et al. (2024). Functional studies on tandem carbohydrate-binding modules of a multimodular enzyme possessing two catalytic domains. *Applied and Environmental Microbiology*, 90.
6. Dunaway, A., & Adedokun, S. (2021). Coccidia Vaccine Challenge and Exogenous Enzyme Supplementation in Broiler Chicken 1. Effect on Digesta Viscosity, Diet Energy Utilization, and Apparent Metabolizable Energy Value of Wheat. *Animals*, 11.

7. Yu, M., Oketch, E. O., Nawarathne, S. R., Chathuranga, N., Maniraguha, V., Cruz, B. S. S., Seo, E., ... et al. (2025). Metabolizable energy and amino acid-deficient diets supplemented with β -mannanase in response to growth performance, intestinal health, and immune response in broilers. *Poultry Science*, 104.
8. Poonsrisawat, A., Wanlapatit, S., Paemane, A., Eurwilaichitr, L., Piyachomkwan, K., & Champreda, V. (2014). Viscosity reduction of cassava for very high gravity ethanol fermentation using cell wall degrading enzymes from *Aspergillus aculeatus*. *Process Biochemistry*, 49, 1950-1957.
9. Onche, E., Habeeb, T., Denen, F., & Omale, S. (2025). Exploring the benefits of β -mannanase supplementation in dairy cattle nutrition, performance, and a sustainable environment. *Journal of Central European Agriculture*.
10. Bilal, M., Nawaz, M., Iqbal, H. M., Hou, J., Mahboob, S., Al-Ghanim, K., & Cheng, H. (2018). Engineering Ligninolytic Consortium for Bioconversion of Lignocelluloses to Ethanol and Chemicals. *Protein Peptide Letters*, 25 2, 108-119 .
11. Guo, W., Hui, L., Song, F., Qu, Y., Wang, Q., Zhang, Y., Xin, J., ... et al. (2025). A new strategy for biological enzyme bleaching: combined effects of laccase, xylanase, and mannanase in the bleaching of softwood kraft pulp – a synergistic effect of enzymes. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 40, 465 - 476.
12. Werku, T. (2025). Method of Enzyme Application and Effect on the Performance of Broilers Fed Meal-Based Diet in Ethiopia: Systematic Review. *American Journal of Applied Scientific Research*.
13. Vangroenweghe, F., Goethals, S., Zele, D., & Bruijn, A. (2023). Application of a β -mannanase enzyme in diets with a reduced net energy content in post-weaning piglets resulted in equal performance and an additional economic benefit. *Medical Research Archives*.
14. Wang, Q., Qi, Z., Fu, W., Pan, M., Ren, X., Zhang, X., & Rao, Z. (2024). Research and Prospects of Enzymatic Hydrolysis and Microbial Fermentation Technologies in Protein Raw Materials for Aquatic Feed. *Fermentation*.
15. Sewalt, V., Shanahan, D., Gregg, L., Marta, J. L., & Carrillo, R. (2016). The Generally Recognized as Safe (GRAS) Process for Industrial Microbial Enzymes. *Industrial Biotechnology*, 12, 295 - 302.

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.