

Food-grade β -glukozydaza do ekstrakcji roślinnej: celowana biokonwersja glikozydów w ekstraktach botanicznych

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

Food-grade β -glukozydaza do ekstrakcji roślinnej jest enzymem procesowym stosowanym do hydrolizy wiązań β -glukozydowych, czyli do odłączania reszt glukozy od naturalnych glikozydów roślinnych. W praktyce może zmieniać profil ekstraktu przez uwalnianie aglikonów, które często różnią się rozpuszczalnością, aromatem, reaktywnością i właściwościami funkcjonalnymi od form glikozydowych. Enzymes.bio oferuje β -glukozydazę jako dostawca online; produkt jest dostępny w jednostkach 1 kg, a CoA i SDS są dostarczane wraz z zamówieniem.

Czym jest β -glukozydaza w kontekście ekstrakcji roślinnej?

β -Glukozydaza jest enzymem hydrolitycznym rozcinającym wybrane wiązania β -glukozydowe. Jeżeli cząsteczka roślinna występuje jako glikozyd — czyli zawiera część cukrową połączoną z częścią niecukrową — enzym może odłączyć glukozę i uwolnić aglikon. To pozornie proste „odcukrzenie” ma duże znaczenie technologiczne, ponieważ aglikon może zachowywać się inaczej niż pierwotny glikozyd: może być bardziej lotny, mniej polarny, łatwiej ekstrahowalny do określonej fazy lub bardziej aktywny sensorycznie.

W roślinach glikozydy pełnią funkcje magazynowe, ochronne i regulacyjne. Rodziny genów β -glukozydaz są szeroko obecne u roślin, a ich aktywność jest związana m.in. z metabolizmem wtórnym, reakcjami obronnymi i przekształcaniem związków glikozydowych ^[1]. Dla technologii ekstrakcji oznacza to, że wiele surowców botanicznych naturalnie zawiera substraty, na które β -glukozydaza może działać — choć ich ilość, dostępność i podatność na hydrolizę zależą od gatunku, części rośliny, dojrzałości, suszenia, rozdrobnienia oraz wcześniejszej obróbki.

W zastosowaniach B2B β -glukozydaza nie jest „ekstraktorem wszystkiego”. Jej rola jest bardziej precyzyjna: wspiera biokonwersję określonych glikozydów, a nie ogólną destrukcję całej matrycy roślinnej. Dlatego najlepiej traktować ją jako etap celowanej modyfikacji chemicznej ekstraktu lub zawiesiny roślinnej, a nie jako zamiennik rozpuszczalnika, homogenizacji, filtracji czy enzymów ściany komórkowej.

Dlaczego glikozydy i aglikony są ważne dla jakości ekstraktu?

Wiele metabolitów roślinnych występuje w dwóch praktycznie istotnych postaciach: jako glikozydy oraz jako aglikony. Glikozyd zawiera przyłączony cukier, zwykle zwiększający polarność i stabilność cząsteczki w tkance roślinnej. Aglikon jest częścią niecukrową; po uwolnieniu może mieć inny profil sensoryczny, inną rozpuszczalność i inną dostępność w dalszym procesie technologicznym. Właśnie ta różnica jest podstawą zastosowania β -glukozydazy w ekstraktach botanicznych, napojach roślinnych, fermentacji, aromatach i składnikach funkcjonalnych.

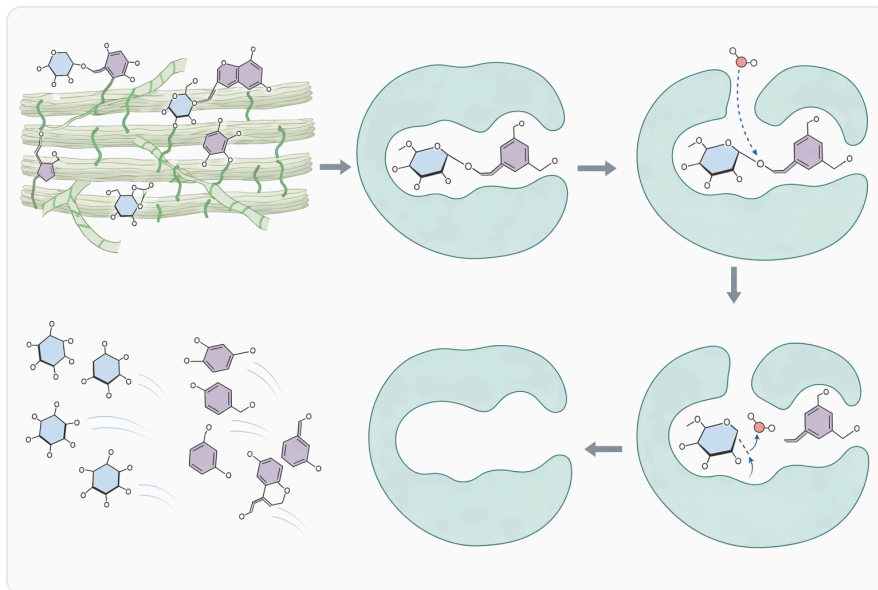


Figure 1. β -글루코시다아제는 포도당이 결합된 적합한 배당체를 포도당과 아글리콘으로 가수분해하여 맛, 향 또는 추출물 조성을 변화시킬 수 있습니다.

Dobrym przykładem biologicznej roli takiej reakcji jest deglikozylacja związków obronnych. Badanie nad *Lamium galeobdolon* opisało β -glukozydazę uczestniczącą w odłączaniu cukru od benzoksazynoidów, czyli roślinnych metabolitów wtórnych związanych z obroną chemiczną ^[2]. Z perspektywy procesowej pokazuje to ogólną zasadę: β -glukozydaza może przekształcać nieaktywne, związane lub magazynowane formy glikozydowe w inne chemicznie formy niecukrowe.

Nie oznacza to jednak, że każdy aglikon jest automatycznie „lepsy”. W jednych produktach pożądane jest zwiększenie udziału aglikonów ze względu na aromat lub funkcję technologiczną; w innych nadmierna hydroliza może zmienić barwę, stabilność albo smak w kierunku niepożądanym. W ekstrakcji roślinnej kluczowe jest więc dopasowanie enzymu do celu: inny cel ma ekstrakt aromatyczny, inny napój fermentowany, inny składnik kosmetyczny, a jeszcze inny frakcja z produktów ubocznych przemysłu owocowo-warzywnego.

Mechanizm działania: co dokładnie robi β -glukozydaza?

Mechanizm można opisać praktycznie: enzym rozpoznaje podatne wiązanie β -glukozydowe, wiąże substrat w centrum aktywnym i katalizuje reakcję hydrolizy z udziałem wody. Produktem jest wolna glukoza oraz aglikon lub krótszy oligosacharyd, zależnie od substratu. W przetwarzaniu roślin najczęściej interesuje nas pierwsza sytuacja: uwolnienie aglikonu z glikozydu występującego naturalnie w materiale botanicznym.

W przypadku surowców lignocelulozowych β -glukozydaza pełni także inną, dobrze znaną funkcję: uczestniczy w końcowych etapach rozkładu produktów celulozy, przekształcając krótkie cello-oligosacharydy i cellobiozę do glukozy. Z tego powodu często występuje w układach enzymatycznych razem z endoglukanazami i innymi enzymami działającymi na polisacharydy ściany komórkowej [3]. Ta funkcja jest ważna w biomasie, ale w ekstrakcji botanicznej nie powinna przesłaniać głównego zastosowania: selektywnej modyfikacji glikozydów.

Najważniejsza konsekwencja technologiczna jest taka, że β -glukozydaza działa na określone substraty, a nie na każdą cząsteczkę w ekstrakcie. Jeżeli związek docelowy nie jest β -glukozydem albo jest fizycznie niedostępny w zwartej strukturze komórkowej, efekt może być ograniczony. Dlatego w wielu procesach β -glukozydaza działa najlepiej jako część szerszego układu: po rozdrobnieniu surowca, po uwodnieniu, po wstępnej ekstrakcji albo razem z enzymami ułatwiającymi dostęp do wnętrza matrycy.

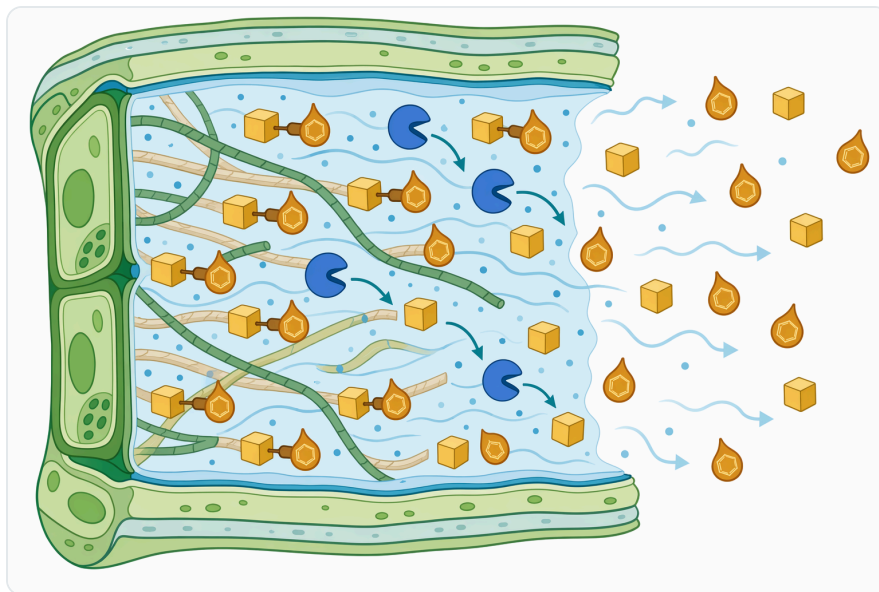


Figure 2. 많은 식물성 화합물은 배당체 형태로 저장되어 있으며, 포도당을 제거하면 휘발성, 용해도 및 추출물의 거동이 달라질 수 있습니다.

β-glukozydaza a enzymy ściany komórkowej: podobieństwa i różnice

W ekstrakcji roślinnej często mówi się ogólnie o „enzymach do rozkładu ściany komórkowej”, ale β-glukozydaza nie jest tym samym co pektinaza, poligalakturonaza, endoglukanaza czy hemicelulaza. Enzymy te mogą współpracować, lecz mają odmienne zadania. Ściana komórkowa roślin zawiera celulozę, hemicelulozy, pektyny, ligninę i białka strukturalne; jej enzymatyczna modyfikacja wymaga zwykle zestawu aktywności, a nie jednego uniwersalnego enzymu ^[4].

Cel technologiczny	Typ enzymu najczęściej kojarzony z celem	Co może wnieść β-glukozydaza	Główne ograniczenie
Uwalnianie aglikonów z glikozydów	β-glukozydaza	Bezpośrednia hydroliza wiązań β-glukozydowych i zmiana profilu glikozyd/aglikon	Działa tylko, gdy obecne są podatne β-glukozydy
Zmniejszenie lepkości pulpy owocowej	Pektinazy, poligalakturonazy	Może wspierać profil chemiczny ekstraktu, ale nie jest głównym enzymem depolimeryzującym pektyny	Ograniczony wpływ na sieć pektynową
Ułatwienie dostępu do celulozy	Endoglukanazy, celobiohydrolazy, β-glukozydaza	Końcowa hydroliza cellobiozy i krótkich produktów celulozy	Nie zastępuje pełnego układu celulaz
Odzysk składników z pozostałości roślinnych	Zależnie od matrycy: pektinazy, celulazy, hemicelulazy, β-glukozydaza	Biokonwersja glikozydów i wsparcie układów hydrolizy biomasy	Efekt zależny od składu pozostałości
Modyfikacja aromatu	β-glukozydaza oraz enzymy fermentacyjne	Uwalnianie lotnych lub sensorycznie aktywnych aglikonów z prekursorów glikozydowych	Możliwa zmiana profilu w kierunku niepożądanym, jeśli proces nie jest kontrolowany

Różnicę dobrze widać w badaniach nad enzymami związanymi z pektynami: struktury i dynamika poligalakturonaz są ściśle powiązane z ich działaniem na pektyny ściany komórkowej, a więc z innym typem substratu niż typowy glikozyd małowcząsteczkowy ^[5]. β-glukozydaza może być częścią procesu, ale nie należy przypisywać jej aktywności typowej dla całej klasy pektolaz.

Wsparcie ekstrakcji bioaktywnych składników z surowców roślinnych

Zainteresowanie enzymatyczną ekstrakcją rośnie, ponieważ przemysł żywnościowy, kosmetyczny i składników funkcjonalnych poszukuje łagodniejszych sposobów wykorzystania surowców roślinnych oraz ich pozostałości. Przeglądy dotyczące enzymatycznej hydrolizy materiałów roślinnych wskazują, że dobór enzymów zależy od struktury surowca, typu związków docelowych i oczekiwanego produktu końcowego ^[6]. β -Glukozydaza wpisuje się w ten kierunek szczególnie wtedy, gdy celem jest nie tylko „wydobycie” składnika, ale także jego biokonwersja.

W praktyce enzym może być stosowany w zawiesinach roślinnych, ekstraktach wodnych lub układach wodno-rozpuszczalnikowych, o ile warunki nie dezaktywują enzymu i nie powodują degradacji składników docelowych. Istotne są: stopień rozdrobnienia, nawodnienie, dostępność substratu, skład fazy ciekłej, obecność cukrów i polifenoli, czas kontaktu oraz kompatybilność z dalszymi etapami procesu. Nie ma jednej uniwersalnej receptury dla wszystkich roślin, ponieważ ekstrakcja liści, skórek owocowych, nasion, korzeni i wyłóków opiera się na różnych ograniczeniach matrycowych.



Figure 3. β -글루코시다아제는 포도당이 결합된 기질을 표적으로 하는 반면, 셀룰라아제, 펙티나아제, 헤미셀룰라아제, 자일라나아제 및 프로테아제는 식물 매트릭스의 서로 다른 장벽에 작용합니다.

Szczególnie interesującym obszarem są pozostałości roślinne. Praca przeglądowa dotycząca waloryzacji pozostałości roślinnych przez enzymatyczną hydrolizę opisuje wykorzystanie takich procesów do odzyskiwania związków bioaktywnych i tworzenia składników funkcjonalnych, m.in. w kontekście kosmetyków ^[7]. β -Glukozydaza może w takich układach wspierać uwalnianie aglikonów, podczas gdy inne enzymy odpowiadają za rozluźnienie struktury polisacharydowej.

Zastosowania w ekstraktach botanicznych, aromatach i napojach

W ekstraktach botanicznych β -glukozydaza jest użyteczna przede wszystkim wtedy, gdy surowiec zawiera glikozydy flawonoidowe, fenolowe, terpenowe, izoflawonowe lub inne związki, których forma aglikonowa jest technologicznie pożądana. Po hydrolizie może zmienić się profil rozpuszczalności, intensywność aromatu, odczucie smaku lub zachowanie składnika w formulacji. Dla producentów ekstraktów oznacza to możliwość bardziej precyzyjnego kształtowania składu, choć ostateczny efekt wymaga dopasowania do konkretnej matrycy.

W napojach roślinnych, fermentowanych bazach botanicznych i aromatach szczególne znaczenie ma uwalnianie związków lotnych z prekursorów glikozydowych. Część związków aromatycznych w roślinie jest przechowywana w formie mniej lotnej i bardziej polarnej; po enzymatycznym odłączeniu glukozy aglikon może stać się bardziej wyczuwalny sensorycznie. Taki efekt jest cenny, ale wymaga kontroli, ponieważ nadmierna hydroliza może w niektórych surowcach zwiększać nuty gorzkie, zielone, żywiczne lub fenolowe.

β -Glukozydaza może być również stosowana jako element procesów fermentacyjnych. Mikroorganizmy fermentacyjne naturalnie wytwarzają różne enzymy, ale dodatek celowanego enzymu pozwala oddzielić etap biokonwersji glikozydów od samej fermentacji. Jest to szczególnie ważne wtedy, gdy produkt końcowy ma zachować stabilny, powtarzalny profil sensoryczny albo gdy fermentacja jest krótka i naturalna aktywność mikrobiologiczna nie wystarcza do uzyskania oczekiwanej konwersji.

Wykorzystanie w przetwarzaniu biomasy i produktów ubocznych

Chociaż głównym tematem jest ekstrakcja roślinna, β -glukozydaza ma także silne uzasadnienie w przetwarzaniu biomasy lignocelulozowej. Badanie nad immobilizowaną β -glukozydazą z *Moniliophthora perniciosa* dotyczyło charakterystyki enzymu i hydrolizy bagassy trzcinowej, co pokazuje jej rolę w układach przetwarzania pozostałości bogatych w celulozę ^[8]. Dla zakładów pracujących z wyłokami, skórkami, łuskami czy frakcjami włóknistymi jest to istotny kontekst: ten sam enzym może pełnić funkcję biokonwersji glikozydów oraz wspierać końcowe etapy hydrolizy produktów celulozowych.

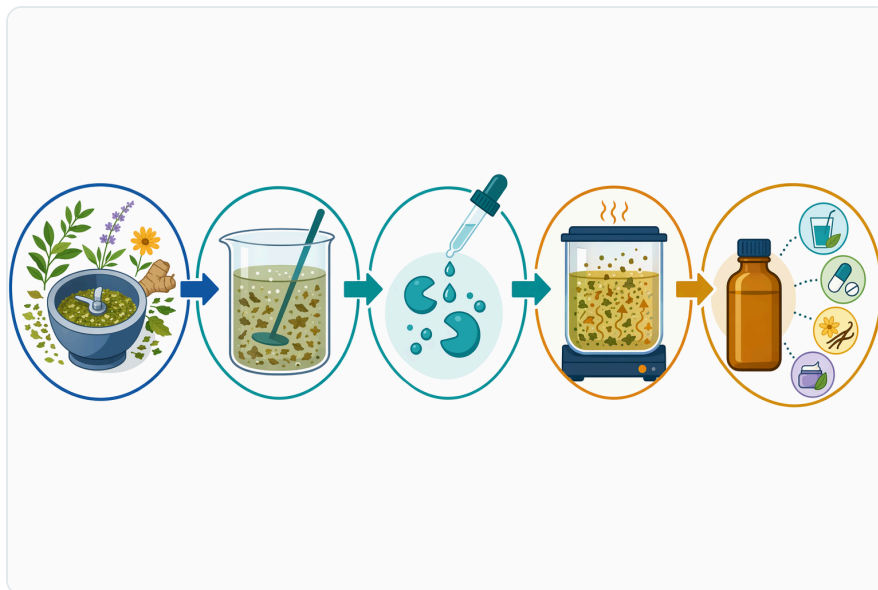


Figure 4. 효소 보조 추출은 식물 원료 준비, 수화, 전환 및 분리로 이어지는 전체 공정에 제어된 생체촉매 접촉 단계를 추가하는 방식입니다.

W procesach waloryzacji odpadów i produktów ubocznych enzymatyczna hydroliza jest często przedstawiana jako bardziej selektywna alternatywa lub uzupełnienie obróbki chemicznej. Przegląd dotyczący waloryzacji odpadów przez hydrolizę chemiczną i enzymatyczną opisuje wykorzystanie takich podejść do otrzymywania produktów przemysłowych z surowców odpadowych ^[9]. β -Glukozydaza jest w tym obrazie enzymem wyspecjalizowanym: nie rozwiązuje wszystkich problemów matrycy, ale może zwiększać wartość frakcji zawierających glikozydy lub produkty częściowej hydrolizy celulozy.

Ważnym ograniczeniem w biomasie lignocelulozowej jest lignina. Badania nad rolą struktury ligniny w adsorpcji celulaz i hydrolizie enzymatycznej pokazują, że skład i architektura ligniny mogą wpływać na dostępność enzymów oraz wydajność procesu ^[10]. W praktyce oznacza to, że sama obecność β -glukozydazy nie gwarantuje skutecznej hydrolizy materiału włóknistego, jeśli substraty są zamknięte w strukturze ściany komórkowej lub enzym jest nieefektywnie wiązany przez składniki matrycy.

Czynniki procesowe wpływające na efekt β -glukozydazy

Najważniejszym czynnikiem jest obecność odpowiedniego substratu. Surowiec bogaty w β -glikozydy ma większy potencjał do zauważalnej biokonwersji niż surowiec, w którym związki docelowe występują głównie jako wolne aglikony, inne glikozydy lub kompleksy trudno dostępne dla enzymu. Dlatego efekty obserwowane w jednej roślinie nie powinny być automatycznie przenoszone na inną roślinę, nawet jeśli obie są bogate w polifenole.

Drugim czynnikiem jest dostępność substratu w matrycy. Rozdrobnienie, uwodnienie, temperatura procesu, lepkość zawiesiny i wcześniejsza obróbka wpływają na to, czy enzym może fizycznie dotrzeć do glikozydu. W surowcach bogatych w ścianę komórkową korzystne może być łączenie β -glukozydazy z enzymami rozluźniającymi matrycę, ale tylko wtedy, gdy nie pogarsza to stabilności składników docelowych. Ogólne opracowania na temat enzymatycznej hydrolizy surowców roślinnych podkreślają, że efektywność zależy od składu materiału i sekwencji operacji technologicznych [6].



Figure 5. 식품 등급 β -글루코시다아제는 β -글루코시드 기질에 접근할 수 있는 식물 추출물, 향미 시스템, 발효 식물 기반 원료, 페놀 성분이 풍부한 잔류물, 과일 부산물 및 셀룰로오스 분해 조각의 마무리 처리에 특히 적합합니다.

Trzecim czynnikiem jest środowisko reakcji. Enzymy są białkami, więc ich aktywność zależy od warunków procesu, w tym kwasowości, temperatury, aktywności wody, obecności alkoholu lub innych rozpuszczalników, a także związków fenolowych i cukrów. W dokumentach technicznych dla konkretnego produktu parametry te są zwykle ustalane procesowo, bez założenia, że jedna wartość będzie optymalna dla wszystkich ekstraktów. Dla materiałów wrażliwych należy też uwzględnić stabilność barwników, aromatów i fenoli w czasie inkubacji.

Czwartym czynnikiem jest moment zakończenia reakcji. Jeżeli celem jest częściowa modyfikacja profilu, nadmiernie długi kontakt enzymu z ekstraktem może dawać inny wynik niż oczekiwany. Zakończenie etapu enzymatycznego może obejmować zmianę warunków procesu, separację frakcji lub dalszą obróbkę zgodną z charakterem produktu końcowego. To decyzja technologiczna, która powinna wynikać z pożądanego profilu ekstraktu, a nie z założenia maksymalnej hydrolizy.

Korzyści technologiczne dla użytkowników B2B

Największą zaletą β -glukozydazy jest selektywność. Zamiast agresywnej obróbki chemicznej całej matrycy, enzym umożliwia celowaną zmianę określonej klasy wiązań. Dla producentów ekstraktów botanicznych, aromatów, baz napojowych i składników funkcjonalnych oznacza to możliwość projektowania profilu glikozyd/aglikon z mniejszą ingerencją w pozostałe frakcje surowca.

Drugą korzyścią jest kompatybilność z łagodniejszymi procesami. Enzymatyczna hydroliza może być prowadzona w warunkach bardziej przyjaznych dla części składników roślinnych niż silna obróbka chemiczna, choć konkretna stabilność zawsze zależy od związku. W kontekście przemysłowym łagodniejsze warunki są szczególnie istotne dla ekstraktów, w których liczy się aromat, barwa lub zachowanie związków wrażliwych na degradację.

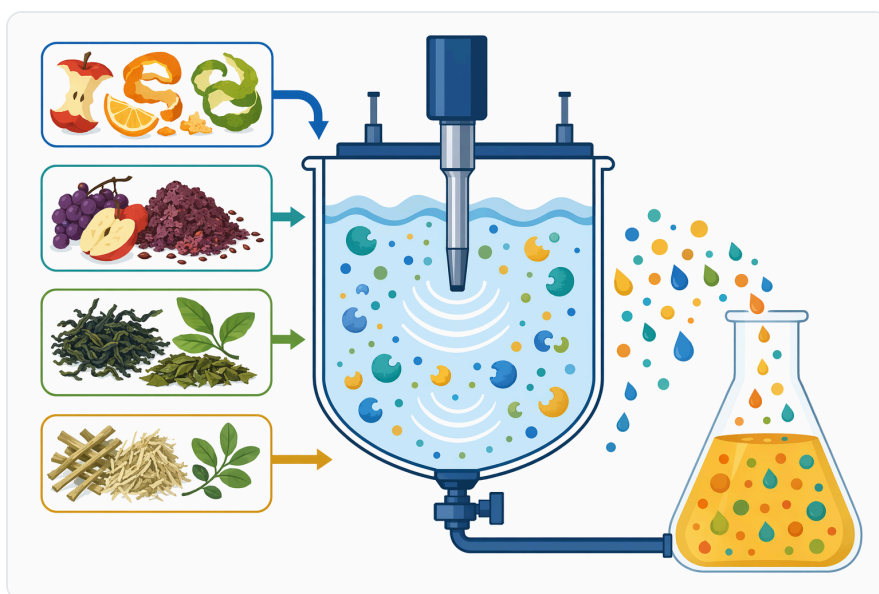


Figure 6. 밀도가 높은 식물성 부산물은 결합되거나 갇혀 있는 화합물에 대한 접근성을 높이기 위해 물리적 전처리와 효소 작용을 함께 적용할 수 있습니다.

Trzecią korzyścią jest możliwość łączenia β -glukozydazy z innymi etapami technologii ekstrakcyjnej. Enzym może działać po wstępnym uwodnieniu surowca, po ekstrakcji pierwotnej, w pulpie roślinnej lub w określonej frakcji ciekłej. Może też współpracować z enzymami celulolitycznymi w biomasie, co opisano m.in. w układach łączących obróbkę mechaniczną z hydrolizą endoglukanazą i β -glukozydazą [3].

Ograniczenia: kiedy β -glukozydaza nie rozwiąże problemu?

β -Glukozydaza nie zwiększy automatycznie całkowitej zawartości każdego składnika bioaktywnego. Jeżeli celem jest związek niezwiązany z glukozą, albo jeśli głównym ograniczeniem jest niska rozpuszczalność, adsorpcja na włóknie, obecność ligniny lub zamknięcie w nienaruszonych komórkach, efekt samej β -glukozydazy może być niewielki. W takich przypadkach konieczne może być inne przygotowanie matrycy lub zastosowanie innych enzymów.

Nie należy też zakładać, że aglikon zawsze poprawi produkt. Czasem odłączenie cukru może obniżyć stabilność w wodzie, zwiększyć podatność na utlenianie, zmienić barwę albo wprowadzić niepożądane nuty smakowe. W surowcach aromatycznych biokonwersja może wzmacniać profil zapachowy, ale może też ujawniać nuty, które wcześniej były sensorycznie ukryte. Odpowiedzialne zastosowanie enzymu polega więc na kontroli stopnia hydrolizy, a nie na maksymalizacji reakcji za wszelką cenę.

Ograniczeniem jest również złożoność matrycy roślinnej. W ścianie komórkowej różne polisacharydy i fenole tworzą układ, który nie zawsze jest łatwo dostępny dla enzymów. Badania dotyczące degradacji mieszanego β -glukanu w roślinach pokazują, że nawet pojedyncze klasy polisacharydów ściany komórkowej podlegają specyficznym mechanizmom hydrolizy ^[11]. To przypomina, że w procesach roślinnych należy odróżniać hydrolizę małocząsteczkowych glikozydów od rozkładu strukturalnych polisacharydów ściany komórkowej.

Jak rozumieć „food-grade” w zastosowaniu przemysłowym?

Określenie „food-grade” w nazwie produktu odnosi się do przeznaczenia enzymu do procesów związanych z przetwórstwem żywności i składników spożywczych, a nie do traktowania enzymu jako gotowego produktu do bezpośredniej konsumpcji. W praktyce B2B β -glukozydaza jest narzędziem procesowym: dodaje się ją na określonym etapie, aby uzyskać pożądaną biokonwersję, a dalsze postępowanie zależy od technologii produktu końcowego.

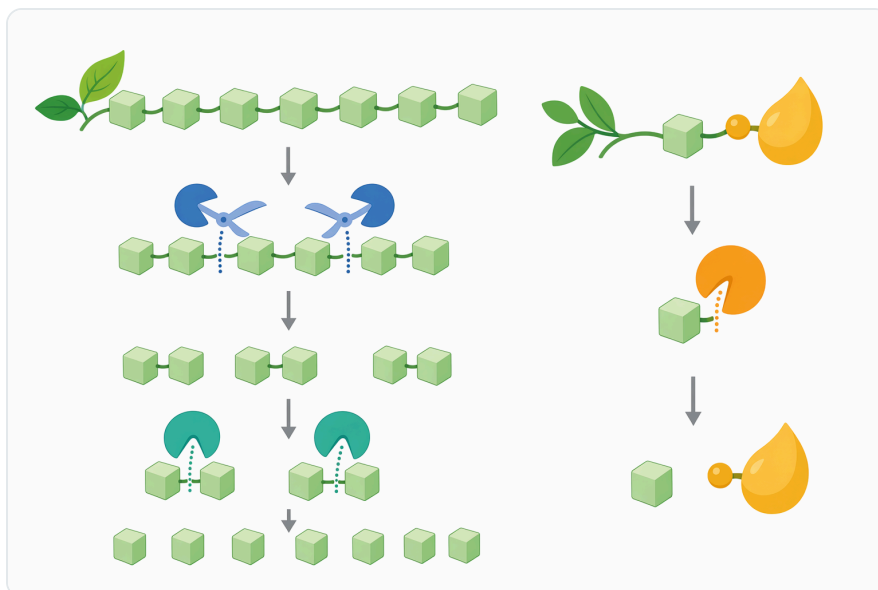


Figure 7. 식물 가공에서 β -글루코시다아제는 셀룰로오스에서 유래한 수용성 조각을 마무리 분해하고 저분자 글루코시드를 전환할 수 있지만, 전체 셀룰라아제 시스템을 대체하지는 않습니다.

Enzymes.bio działa jako dostawca online, nie jako producent ani laboratorium badawcze. Produkt Food-Grade β -Glucosidase for Plant Extraction jest oferowany w kategorii β -glukozydaz, dostępny w jednostkach 1 kg, a dokumenty CoA i SDS są dostarczane wraz z zamówieniem. Dla użytkownika przemysłowego oznacza to dostęp do enzymu jako składnika procesu, przy zachowaniu odpowiedzialności za dopasowanie go do własnej matrycy, wymagań procesu i specyfikacji produktu końcowego.

Podsumowanie techniczne

Food-grade β -glukozydaza do ekstrakcji roślinnej jest najbardziej użyteczna tam, gdzie wartością jest kontrolowana hydroliza β -glukozydów i uwolnienie aglikonów. Może wspierać opracowywanie ekstraktów botanicznych, baz aromatycznych, napojów roślinnych, procesów fermentacyjnych oraz waloryzację pozostałości roślinnych. Jej działanie jest jednak selektywne i zależne od surowca: wymaga obecności podatnych substratów, dostępu enzymu do tych substratów oraz warunków procesu zgodnych z aktywnością enzymatyczną.

Najbardziej realistyczne zastosowanie β -glukozydazy to nie „uniwersalna ekstrakcja”, lecz celowana biokonwersja profilu glikozydowego. Właściwie włączona do procesu może pomóc uzyskać ekstrakt o innym profilu chemicznym, sensorycznym lub funkcjonalnym, przy zachowaniu łagodniejszego podejścia do matrycy roślinnej niż wiele metod chemicznych. Właśnie ta precyzja — a nie obietnica działania na każdy składnik — stanowi jej główną wartość technologiczną dla odbiorców B2B.

Zamów Food-Grade B-Glucosidase For Plant Extraction 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 Food-Grade B-Glucosidase For Plant Extraction →](#)

Bibliografia

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

1. Gómez-Anduro, G., Cenicerros-Ojeda, E. A., Casados-Vázquez, L. E., Bencivenni, C., Sierra-Beltrán, A., Murillo-Amador, B., & Tiessen, A. (2011). Genome-wide analysis of the beta-glucosidase gene family in maize (*Zea mays* L. var B73). *Plant Molecular Biology*, 77, 159-183.
2. Hannemann, L., Lucaciu, C., Sharma, S., Rattei, T., Mayer, K., Gierl, A., & Frey, M. (2018). A promiscuous beta-glucosidase is involved in benzoxazinoid deglycosylation in *Lamium galeobdolon*. *Phytochemistry*, 156, 224-233 .
3. Teixeira, R., Silva, A. S., Jang, J., Kim, H., Ishikawa, K., Endo, T., Lee, S., ... et al. (2015). Combining biomass wet disk milling and endoglucanase/ β -glucosidase hydrolysis for the production of cellulose nanocrystals. *Carbohydrate Polymers*, 128, 75-81 .
4. Wilson, D. (2004). Studies of *Thermobifida fusca* plant cell wall degrading enzymes. *The chemical record*, 4 2, 72-82 .
5. Šafran, J., Tabi, W., Ung, V., Lemaire, A., Habrylo, O., Bouckaert, J., Rouffle, M., ... et al. (2023). Plant polygalacturonase structures specify enzyme dynamics and processivities to fine-tune cell wall pectins. *The Plant Cell*.
6. Boltovsky, V. S. (2021). Enzymatic hydrolysis of plant raw materials: state and prospects. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus Chemical Series*.
7. Puton, B. M. S., Oro, C. E. D., Bernardi, J. L., Finkler, D. E., Venquiaruto, L., Dallago, R., & Tres, M. (2025). Sustainable Valorization of Plant Residues Through Enzymatic Hydrolysis for the Extraction of Bioactive Compounds: Applications as Functional Ingredients in Cosmetics. *Processes*.
8. Silva Almeida, L. E., & Assis, S. A. (2023). Calcium alginate-immobilized β -glucosidase from *Moniliophthora perniciosa*: characterization and sugarcane bagasse hydrolysis. *Biocatalysis and Biotransformation*, 42, 542 - 552.
9. Szopa, D., Skrzypczak, D., Izydorczyk, G., Chojnacka, K., Moustakas, K., & Witek-Krowiak, A. (2023). Waste Valorization towards Industrial Products through Chemo- and Enzymatic- Hydrolysis. *Bioengineered*, 14.
10. Wu, W., Li, P., Huang, L., Wei, Y., Li, J., Zhang, L., & Jin, Y. (2023). The Role of Lignin Structure on Cellulase Adsorption and Enzymatic Hydrolysis. *Biomass*.
11. Kraemer, F., Lunde, C., Koch, M., Kuhn, B. M., Ruehl, C., Brown, P., Hoffmann, P., ... et al. (2021). A mixed-linkage (1,3;1,4)- β -D-glucan specific hydrolase mediates dark-triggered degradation of this plant cell wall polysaccharide.

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.