

Laccase Enzyme CAS 80498-15-3 do oczyszczania ścieków: biokatalityczne odbarwianie, utlenianie fenoli i doczyszczanie mikrozanieczyszczeń

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

Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater CAS 80498-15-3 to enzym oksydoredukcyjny wykorzystywany jako biokatalizator do przekształcania wybranych zanieczyszczeń organicznych w ściekach, zwłaszcza barwników, fenoli i części związków aromatycznych. Lakaza nie zastępuje całej oczyszczalni, ale może działać jako etap wspomagający lub doczyszczający tam, gdzie klasyczne procesy biologiczne i fizykochemiczne mają ograniczoną skuteczność. Najlepiej udokumentowane zastosowania obejmują odbarwianie ścieków barwnikowych, degradację fenolu i pochodnych fenolowych oraz redukcję wybranych mikrozanieczyszczeń, przy czym skuteczność zależy od składu ścieku i warunków procesu ^[1].

Czym jest lakaza CAS 80498-15-3 w kontekście oczyszczania ścieków?

Lakaza jest enzymem z grupy oksydaz wielomiedziowych. W praktyce oznacza to, że przenosi elektrony z utlenianych związków organicznych na tlen cząsteczkowy, a produktem końcowym redukcji tlenu jest woda. Ta cecha jest ważna w oczyszczaniu ścieków, ponieważ enzym może inicjować łagodniejsze, biologiczne reakcje utleniania bez konieczności stosowania silnych utleniaczy w każdym przypadku procesowym ^[1].

W dokumentacji technicznej nazwa **Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater CAS 80498-15-3** odnosi się do preparatu enzymatycznego przeznaczonego do zastosowań związanych z uzdatnianiem i doczyszczaniem wody oraz ścieków. Enzymes.bio występuje tu jako dostawca produktu sprzedawanego online w jednostkach 1 kg, a nie jako producent ani laboratorium badawcze. Dokumenty CoA i SDS są dostarczane wraz z zamówieniem.

Z punktu widzenia użytkownika B2B lakaza jest najbardziej interesująca tam, gdzie problemem są struktury aromatyczne: barwniki syntetyczne, fenole, chlorofenole, bisfenole, produkty uboczne ligniny, wybrane farmaceutyki oraz inne mikrozanieczyszczenia podatne na utlenianie enzymatyczne. Nie

należy jednak traktować jej jako uniwersalnego środka do mineralizacji całego ładunku organicznego, ponieważ zakres substratowy i stabilność enzymu są ograniczone przez matrycę ściekową [2].

Mechanizm działania: dlaczego lakaza utlenia barwniki i fenole?

Mechanizm lakazy opiera się na reakcjach jednoelektronowego utleniania. Typowa lakaza zawiera centra miedziowe, które przyjmują elektrony od substratu organicznego i przekazują je na tlen. W wyniku kilku kolejnych transferów elektronów tlen jest redukowany do wody, a substrat przechodzi w formę rodnikową, chinonową lub inną utlenioną strukturę o zmienionej reaktywności [1].

Dla związków fenolowych reakcja jest stosunkowo intuicyjna: lakaza utlenia grupę fenolową, tworząc rodnik fenoksyłowy. Taki rodnik może następnie ulegać dalszemu rozkładowi, sprzężaniu, polimeryzacji albo przekształceniu do produktów łatwiejszych do oddzielenia. Dlatego w literaturze lakaza jest często opisywana w kontekście fenolu, chlorofenoli, naturalnych polifenoli i ścieków o wysokiej zawartości związków fenolowych [3].

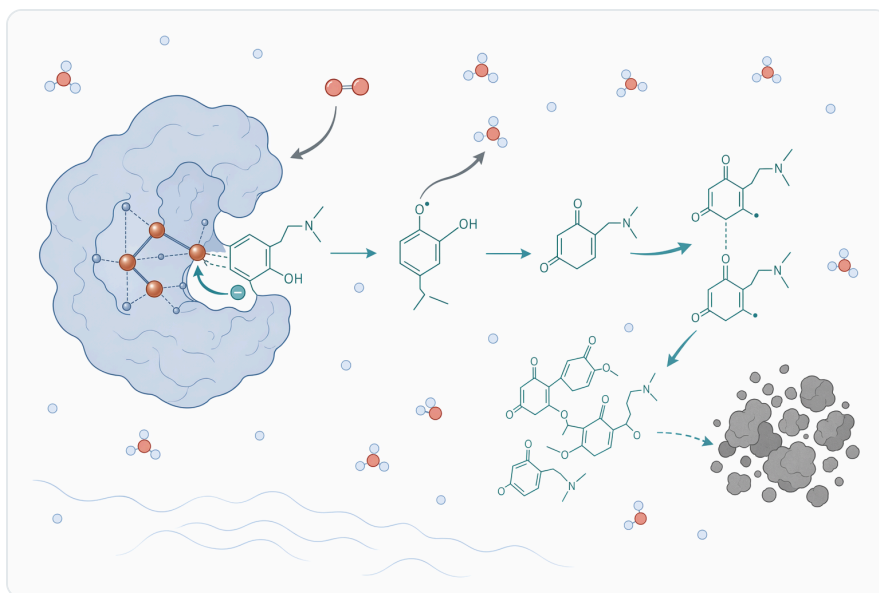


Figure 1. 라카아제는 산소를 물로 환원시키면서 페놀성 오염물질과 염료 오염 물질을 산화하며, 이 과정에서 생성된 라디칼은 서로 결합해 용해도가 낮은 생성물을 형성하는 경우가 많습니다.

W przypadku barwników mechanizm zależy od budowy cząsteczki. Lakaza może atakować fragmenty fenolowe, aminowe lub inne grupy podatne na utlenianie, prowadząc do przerwania układu chromoforowego odpowiedzialnego za barwę. Odbarwienie nie zawsze oznacza pełną mineralizację, ale może znacząco zmniejszyć intensywność koloru i przygotować ściek do kolejnego etapu oczyszczania [4].

Zakres działania lakazy może być rozszerzany przez mediatory redoks. Mediator jest małą cząsteczką pośredniczącą w przenoszeniu elektronów: enzym utlenia mediator, a utleniona forma mediatora reaguje następnie z zanieczyszczeniem, które samo może być zbyt duże, zbyt hydrofobowe lub zbyt mało reaktywne wobec centrum aktywnego enzymu. Takie układy są szczególnie istotne w badaniach nad mikrozanieczyszczeniami i farmaceutykami, gdzie podatność poszczególnych związków jest bardzo różna [2].

Główne obszary zastosowania lakazy w oczyszczaniu ścieków

Ścieki barwnikowe i tekstylne

Najbardziej rozpoznawalnym zastosowaniem lakazy jest odbarwianie ścieków tekstylnych oraz innych strumieni zawierających syntetyczne barwniki przemysłowe. Barwniki azowe, antrachinonowe, trifenylometanowe i reaktywne są projektowane tak, aby były trwałe w procesie użytkowania, co jednocześnie utrudnia ich usuwanie w klasycznych oczyszczalniach. Lakaza jest badana jako biokatalizator zdolny do naruszania struktur chromoforowych i zmniejszania widocznej barwy ścieku [5].

W literaturze opisano zarówno wolne enzymy, jak i formy immobilizowane na nośnikach, w tym materiałach mineralnych, biopolimerowych i magnetycznych. Immobilizacja jest ważna, ponieważ ułatwia zatrzymywanie enzymu w reaktorze, może poprawiać stabilność i ograniczać utratę katalizatora wraz z odpływem. Prace nad immobilizacją lakazy na kompozytach i nośnikach porowatych wskazują, że jest to jeden z głównych kierunków rozwoju technologii enzymatycznego odbarwiania [6].

W ściekach tekstylnych lakaza rzadko jest jedynym elementem procesu. Może współpracować z sedymentacją, koagulacją, filtracją, procesami biologicznymi lub zaawansowanymi procesami utleniania. W praktyce największą wartość daje jako etap selektywnego utleniania barwników, które przechodzą przez wcześniejsze operacje lub są słabo biodegradowalne w konwencjonalnych układach osadu czynnego [7].

Fenole, chlorofenole i ścieki fenolowe

Lakaza jest szczególnie dobrze dopasowana do związków fenolowych, ponieważ fenole są klasycznymi substratami oksydaz wielomiedziowych. W ściekach przemysłowych fenole mogą pochodzić m.in. z koksownictwa, przemysłu petrochemicznego, produkcji żywic, przetwórstwa biomasy, destylarni, fermentacji, produkcji papieru i wielu procesów chemicznych. Ich problemem jest toksyczność wobec mikroorganizmów oczyszczalni oraz zdolność do utrzymywania się w środowisku wodnym [8].

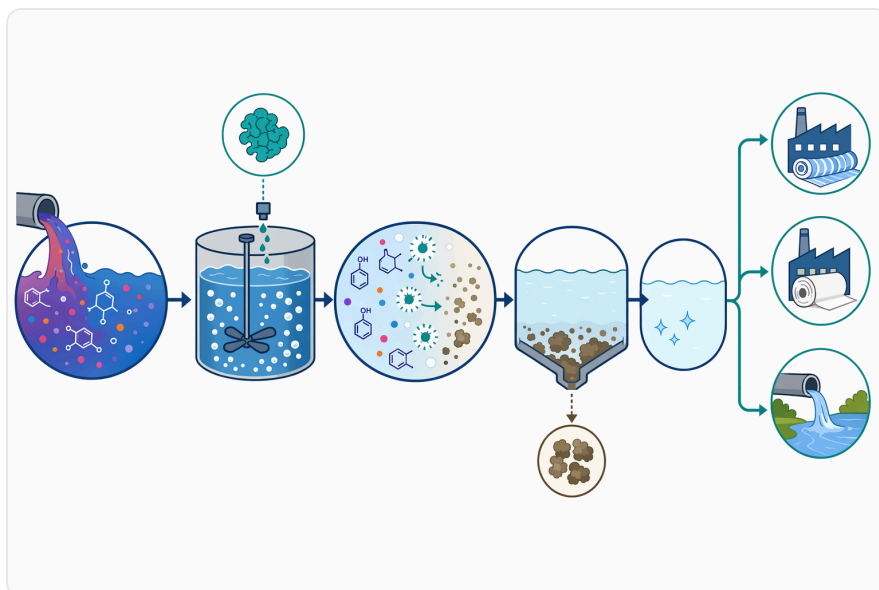


Figure 2. 일반적인 라카아제 폐수 처리 공정에서는 색도와 산화 가능한 유기 오염물질을 줄이기 위해 효소와 공기를 주입한 뒤 침전·분리 공정을 거칩니다.

Badania nad enzymatycznym oczyszczaniem ścieków fenolowych pokazują, że na efektywność lakazy wpływają nie tylko sam fenol i jego stężenie, ale także zasolenie, obecność surfaktantów i skład matrycy. To ważne dla użytkowników przemysłowych, ponieważ ścieki rzeczywiste rzadko przypominają prosty roztwór jednego zanieczyszczenia. W publikacjach podkreśla się, że dodatki obecne w ściekach mogą zmieniać dostępność substratu, stabilność enzymu i końcowy stopień przekształcenia [3].

Przy fenolach istotne jest również rozróżnienie między degradacją a polimeryzacją. Lakaza może prowadzić do powstawania większych, mniej rozpuszczalnych produktów sprzęgania fenolowego, które następnie można usuwać fizycznie. W niektórych przypadkach jest to korzystne, ponieważ zamiast całkowitej mineralizacji w jednym etapie uzyskuje się konwersję do form łatwiejszych do separacji [9].

Mikrozanieczyszczenia, farmaceutyki i antybiotyki

Lakaza jest intensywnie badana w kontekście mikrozanieczyszczeń, ponieważ konwencjonalne oczyszczalnie ścieków nie były projektowane do pełnego usuwania farmaceutyków, antybiotyków, substancji endokrynnie czynnych ani bardzo zróżnicowanych związków śladowych. Enzymatyczne doczyszczanie może być rozważane tam, gdzie wymagane jest zmniejszenie ładunku określonych związków aromatycznych lub heteroaromatycznych [2].

Jednocześnie ta grupa zastosowań wymaga szczególnej ostrożności. W badaniach nad usuwaniem antybiotyków za pomocą lakazy grzybowej wskazano, że degradacja związku macierzystego nie zawsze oznacza eliminację toksyczności mieszaniny poreakcyjnej. Produkty transformacji mogą zachowywać

aktywność biologiczną albo wykazywać inną toksyczność niż związek wyjściowy, dlatego przy mikrozanieczyszczeniach ważna jest ocena efektu końcowego, a nie wyłącznie spadku stężenia analitu [2].

Ścieki z przemysłu spożywczego, winiarskiego i destylacyjnego

Lakaza może być przydatna także w strumieniach bogatych w naturalne fenole i polifenole, takich jak wybrane ścieki z przetwórstwa owoców, produkcji wina, destylacji i innych procesów rolno-spożywczych. W takich matrycach zanieczyszczenia fenolowe mogą odpowiadać za barwę, zapach, toksyczność wobec mikroorganizmów i podwyższoną oporność ścieku na klasyczne oczyszczanie biologiczne [10].

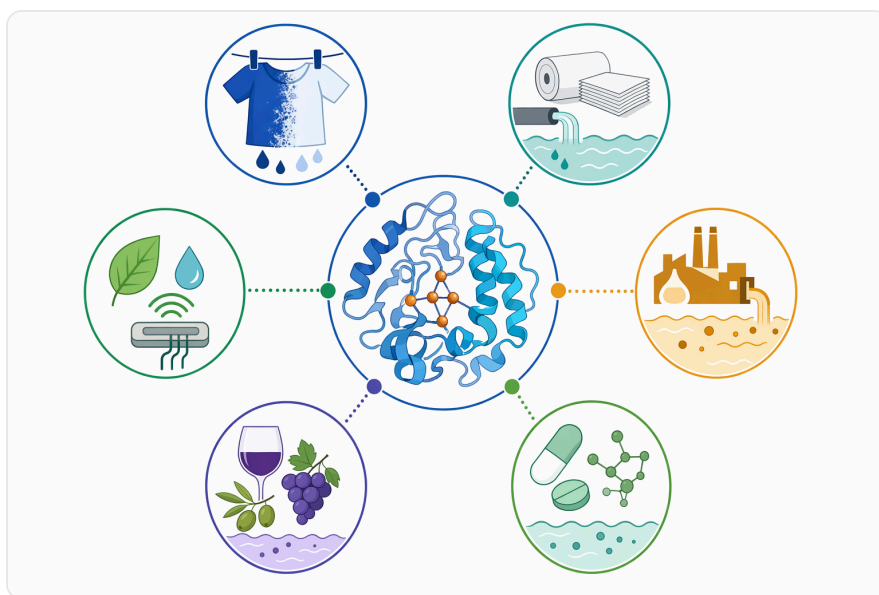


Figure 3. 폐수 처리용 라카아제는 염료, 제지, 페놀성 물질, 농산업 폐수 및 미량 유기 오염물질 처리 등 다양한 분야에 사용됩니다.

Badania nad związkami fenolowymi z osadów winiarskich pokazują, że lakaza może nie tylko degradować, lecz także inicjować kontrolowane przekształcenia polifenoli w produkty polimeryczne. Z punktu widzenia oczyszczania ścieków oznacza to, że enzym może zmieniać rozpuszczalność, reaktywność i podatność związków fenolowych na dalszą separację lub biodegradację [9].

Porównanie zastosowań lakazy w różnych typach ścieków

Typ zanieczyszczenia lub ścieku	Najważniejszy mechanizm lakazy	Potencjalny efekt procesowy	Poziom dojrzałości dowodów	Najważniejsze ograniczenie
Barwniki tekstylne i przemysłowe	Utlenianie grup chromoforowych lub struktur pomocniczych	Odbarwienie, częściowa degradacja, większa podatność na dalsze oczyszczanie	Wysoki w badaniach laboratoryjnych i półtechnicznych	Odbarwienie nie zawsze oznacza pełną mineralizację
Fenol i pochodne fenolowe	Tworzenie rodników fenoksylowych, sprzęganie lub dalsza oksydacja	Zmniejszenie stężenia fenoli, tworzenie produktów łatwiejszych do usunięcia	Wysoki dla układów modelowych	Wpływ pH, zasolenia i złożonej matrycy ściekowej
Antybiotyki i farmaceutyki	Bezpośrednie lub mediatorowe utlenianie wybranych struktur	Redukcja wybranych mikrozanieczyszczeń	Umiarkowany i zależny od związku	Produkty transformacji mogą zachować toksyczność
Ścieki spożywcze i winiarskie	Utlenianie polifenoli i związków aromatycznych	Zmiana barwy, reaktywności i biodegradowalności	Umiarkowany	Duża zmienność składu surowca i sezonowość
Ścieki koksownicze lub chemiczne	Utlenianie fenoli i aromatów podatnych na lakazę	Wspomaganie doczyszczania po etapach głównych	Rozwijający się	Możliwa inhibicja przez składniki toksyczne lub zasolone

Tabela pokazuje, że lakaza ma największy sens tam, gdzie chemiczna struktura zanieczyszczeń pasuje do jej mechanizmu: fenole, polifenole, wybrane barwniki i aromatyczne mikrozanieczyszczenia. Dla ścieków o złożonym składzie najbardziej realistycznym modelem jest nie pojedynczy „reaktor lakazowy” rozwiązujący cały problem, lecz integracja enzymu z istniejącym ciągiem technologicznym [11].

Wolna lakaza a lakaza immobilizowana

Wolna lakaza jest prostsza koncepcyjnie: enzym miesza się ze ściekiem i pozwala mu reagować przez określony czas kontaktu. Taki układ jest użyteczny w badaniach przesiewowych i w części zastosowań wsadowych, ale w procesie ciągłym może mieć ograniczenia. Enzym rozpuszczony w ścieku jest trudny do odzyskania, może ulegać dezaktywacji i zwykle opuszcza układ wraz z odpływem [12].

Immobilizacja oznacza związanie enzymu z nośnikiem stałym, takim jak materiał porowaty, cząstki magnetyczne, kompozyt mineralny, alginian, nośnik polimerowy lub struktura typu MOF. Dzięki temu enzym można zatrzymać w reaktorze, oddzielić magnetycznie albo prowadzić proces w złożu stałym lub fluidalnym. W badaniach nad degradacją fenolu lakaza immobilizowana na funkcjonalizowanych nanocząstkach magnetycznych była wykorzystywana w reaktorze ze złożem stałym, co ilustruje przejście od prostego układu laboratoryjnego do bardziej procesowej konfiguracji [13].

W ściekach koksowniczych i innych złożonych strumieniach przemysłowych immobilizacja jest atrakcyjna, ponieważ może zwiększać odporność enzymu na niekorzystne warunki i ułatwiać jego ponowne użycie. Prace nad lakazą immobilizowaną na magnetycznej mezoporowatej krzemionce w magnetycznie stabilizowanym złożu fluidalnym pokazują, że projekt nośnika i hydrodynamika reaktora są równie ważne jak sam enzym [14].

Nie oznacza to jednak, że immobilizacja automatycznie rozwiązuje wszystkie problemy. Nośnik może ograniczać dyfuzję dużych cząsteczek, zmieniać pozorne powinowactwo do substratu albo tracić aktywność w czasie. Dlatego w praktyce wybór między formą wolną i immobilizowaną zależy od rodzaju ścieku, planowanego czasu kontaktu, wymagań dotyczących separacji oraz tego, czy proces ma być wsadowy, okresowy czy ciągły [15].



Figure 4. 강한 화학적 산화나 응집 처리에 비해 라카아제 처리는 더 온화한 조건에서 작동할 수 있으며, 색을 유발하는 오염물질을 줄이는 데 도움이 됩니다.

Parametry procesu, które decydują o skuteczności

Najważniejszym parametrem jest pH, ponieważ wpływa jednocześnie na strukturę enzymu, jonizację substratu, potencjał redoks i stabilność produktów reakcji. Lakazy grzybowe często wykazują wysoką aktywność wobec wielu substratów w środowisku kwaśnym lub lekko kwaśnym, ale nie jest to uniwersalna reguła dla wszystkich źródeł enzymu i wszystkich zanieczyszczeń. W nowoczesnych badaniach poszukuje się również lakaz bakteryjnych i metagenomicznych o szerszej odporności środowiskowej [16].

Drugim parametrem jest dostępność tlenu. Ponieważ tlen jest końcowym akceptorem elektronów, zbyt niski poziom natlenienia może ograniczać szybkość reakcji, szczególnie przy wysokim ładunku zanieczyszczeń podatnych na utlenianie. W przeciwieństwie do procesów wymagających stechiometrycznego dozowania silnych utleniaczy, lakaza wykorzystuje tlen rozpuszczony, ale jego transport do fazy ciekłej i do powierzchni immobilizowanego enzymu pozostaje elementem projektowania procesu [1].

Temperatura wpływa na dwa przeciwstawne zjawiska: wzrost szybkości reakcji i ryzyko dezaktywacji enzymu. W ściekach rzeczywistych dodatkowo pojawiają się zmiany sezonowe, obecność rozpuszczalników, soli, metali, surfaktantów oraz związków mogących działać jako inhibitory. Opisano lakazy i enzymy lakazopodobne o podwyższonej tolerancji na sól, rozpuszczalniki organiczne i warunki niskotemperaturowe, co pokazuje kierunek rozwoju bardziej odpornych biokatalizatorów środowiskowych [17].

Czas kontaktu jest kolejnym ograniczeniem praktycznym. Lakaza może skutecznie przekształcać wybrane związki, ale reakcja wymaga czasu, a ścieki przemysłowe często przepływają z dużą zmiennością natężenia i składu. Dlatego enzymatyczny etap doczyszczania powinien być rozumiany jako kontrolowany kontakt biokatalizatora z odpowiednio przygotowanym strumieniem, a nie jako doraźny dodatek do dowolnego punktu instalacji [18].

Integracja lakazy z istniejącymi technologiami oczyszczania

Lakaza najlepiej wpisuje się w koncepcję procesów hybrydowych. Może być używana po wstępnym usunięciu zawiesin, tłuszczów i zanieczyszczeń łatwo sedymentujących, aby ograniczyć nieproduktywne zużycie aktywności enzymatycznej na składniki uboczne. Może też działać po etapie biologicznym jako doczyszczanie barwy, fenoli lub mikrozanieczyszczeń pozostałych w odpływie [11].

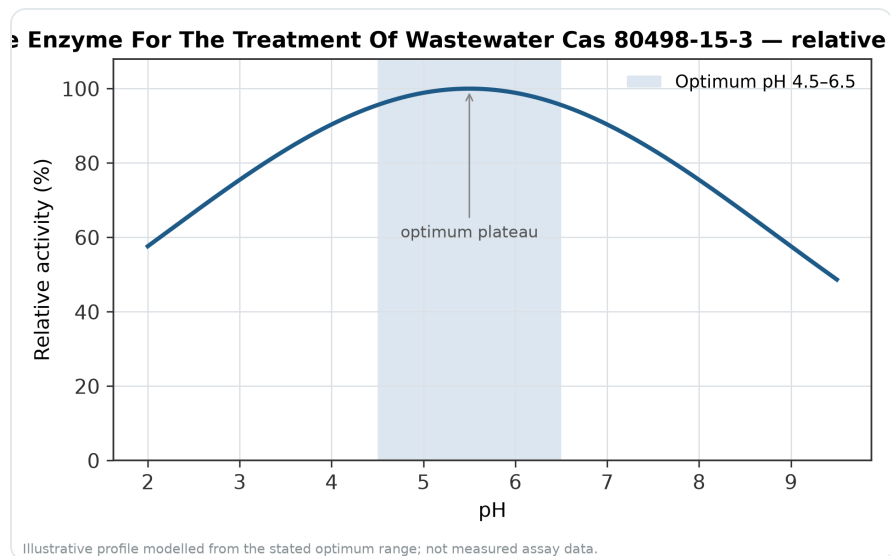


Figure 5. pH에 따른 폐수 처리용 라카아제 효소(CAS 80498-15-3)의 상대 활성으로, pH 4.5~6.5에서 최적 활성 구간이 나타납니다.

W układach z barwnikami lakaza może poprzedzać koagulację lub filtrację, jeżeli jej reakcje prowadzą do powstawania większych, mniej rozpuszczalnych produktów. W innych przypadkach może być etapem po filtracji membranowej lub adsorpcji, kiedy celem jest redukcja pozostałej frakcji rozpuszczonej. Takie podejście jest zgodne z ogólnym kierunkiem przemysłowego oczyszczania ścieków, w którym łączy się procesy biologiczne, membranowe, elektrochemiczne i katalityczne [7].

Lakaza może również współistnieć z technologiami biofilmowymi i bioreaktorami. W systemach biofilmowych mikroorganizmy odpowiadają za szeroką biodegradację, natomiast enzymatyczne etapy mogą wzmacniać usuwanie związków specyficznych, trudnych lub toksycznych dla klasycznych konsorcjów. Przeglądy technologii biofilmowych wskazują, że takie układy są rozwijane właśnie po to, aby zwiększać odporność procesów na złożone ścieki przemysłowe [18].

Korzyści techniczne i środowiskowe dla użytkowników B2B

Pierwszą korzyścią jest selektywność. Lakaza nie jest niespecyficznym „spalaczem” całego ładunku organicznego, lecz katalizatorem ukierunkowanym na określone struktury chemiczne. To zaleta, gdy problemem jest barwa, fenole lub konkretna frakcja aromatyczna, ponieważ enzym może wspomagać usuwanie związków, które w małych stężeniach silnie wpływają na jakość odpływu [1].

Drugą korzyścią są łagodne warunki pracy. Reakcje lakazy zachodzą w środowisku wodnym i wykorzystują tlen jako akceptor elektronów. W porównaniu z agresywnymi utleniaczami chemicznymi może to zmniejszać ryzyko nadmiernego powstawania ubocznych produktów utleniania, choć nie eliminuje potrzeby kontroli jakości odpływu i oceny produktów transformacji [2].

Trzecią korzyścią jest możliwość dopasowania do różnych konfiguracji procesu. Lakaza może być rozpatrywana w formie wolnej, immobilizowanej, w złożu stałym, w złożu fluidalnym, na nośnikach magnetycznych lub w kompozytach. W badaniach nad ściekami barwnikowymi i fenolowymi szczególnie dużo uwagi poświęca się stabilnym, wielokrotnego użycia biokatalizatorom, ponieważ to one mają największe znaczenie dla praktycznych wdrożeń [19].

Czwartą korzyścią jest potencjał środowiskowy. Enzymatyczne oczyszczanie może ograniczać zapotrzebowanie na część reagentów chemicznych, zmniejszać barwę odpływu i wspierać rozkład związków toksycznych dla mikroorganizmów. Nie jest to jednak automatyczna gwarancja „zielonego” procesu: bilans środowiskowy zależy od nośnika, trwałości enzymu, częstotliwości wymiany, energii mieszania i efektu końcowego oczyszczania [20].

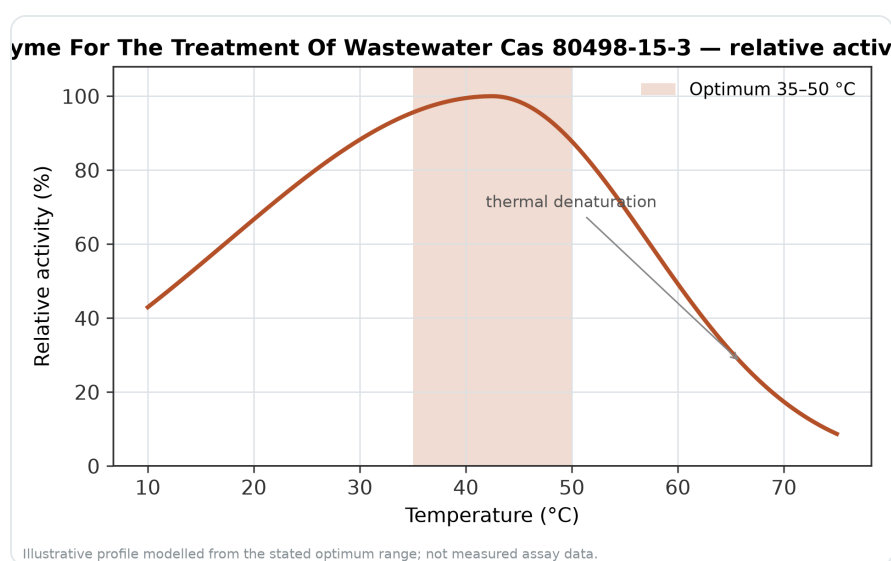


Figure 6. 온도에 따른 폐수 처리용 라카아제 효소(CAS 80498-15-3)의 상대 활성으로, 35~50°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열변성으로 인한 전형적인 활성 감소가 나타납니다.

Ograniczenia: czego lakaza nie robi i gdzie potrzebna jest ostrożność

Najważniejsze ograniczenie brzmi: lakaza nie usuwa jednakowo wszystkich zanieczyszczeń. Jej skuteczność jest wysoka wobec wielu fenoli i części barwników, ale może być słaba wobec związków alifatycznych, substancji bardzo trwałych redokso albo cząsteczek niedostępnych sterycznie. Nawet w obrębie jednej klasy, na przykład farmaceutyków, różnice w podatności na enzymatyczne utlenianie mogą być bardzo duże [2].

Drugie ograniczenie dotyczy toksyczności produktów. Spadek stężenia związku macierzystego, spadek absorpcji barwy lub zanik piku analitycznego nie zawsze oznacza, że ściek stał się mniej toksyczny. W przypadku antybiotyków i mikrozanieczyszczeń autorzy badań zwracają uwagę, że transformacja

enzymatyczna może generować produkty wymagające dalszej oceny, zwłaszcza gdy odpływ trafia do środowiska wodnego [2].

Trzecie ograniczenie to dezaktywacja enzymu. Ścieki przemysłowe mogą zawierać metale ciężkie, detergenty, rozpuszczalniki, wysokie stężenia soli, utleniacze resztkowe, zawiesiny i substancje powierzchniowo czynne. Każdy z tych czynników może wpływać na stabilność lakazy, dostępność substratu lub transport masy. Dlatego wyniki z roztworów modelowych należy przenosić na rzeczywiste ścieki ostrożnie [3].

Czwarte ograniczenie dotyczy interpretacji dekoloryzacji. Dla barwników spadek barwy jest ważnym parametrem użytkowym, ale nie jest równoznaczny z całkowitym rozkładem chemicznym. Produkty pośrednie mogą nadal zawierać struktury aromatyczne, azowe lub inne grupy istotne toksykologicznie. Z tego powodu lakaza powinna być traktowana jako narzędzie transformacji i doczyszczania, a nie automatyczna metoda pełnej mineralizacji [4].

Znaczenie nowych nośników i enzymów lakazopodobnych

W ostatnich latach dużą część badań poświęcono nie tylko samej lakazie, lecz także sposobom jej stabilizacji. Opisywano systemy oparte na nanocząstkach magnetycznych, mezoporowatej krzemionce, alginianach, strukturach metaloorganicznych i hybrydowych biokatalizatorach. Celem jest zwiększenie trwałości, łatwiejsze oddzielanie enzymu od ścieku i utrzymanie aktywności w kolejnych cyklach pracy [15].

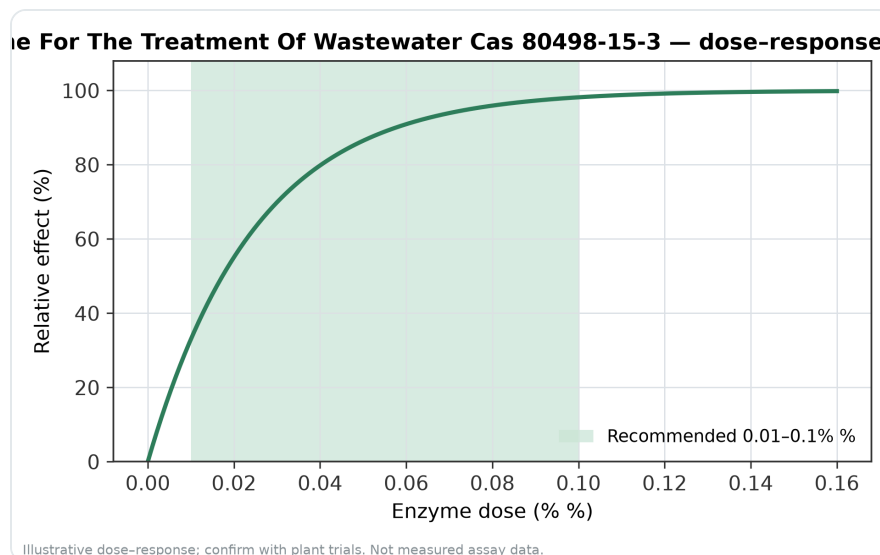


Figure 7. 권장 사용 범위(0.01~0.1%)에서 폐수 처리용 라카아제 효소(CAS 80498-15-3)의 예시적 용량-반응 관계입니다.

Równolegle rozwijane są nanozymy i materiały biomimetyczne naśladujące aktywność lakazy. Takie układy nie są klasycznymi enzymami białkowymi, ale mogą katalizować podobne reakcje utleniania fenoli i służyć również do detekcji zanieczyszczeń. Badania nad biomimetycznymi systemami lakkazopodobnymi pokazują, że granica między biokatalizą enzymatyczną a katalizą materiałową staje się coraz bardziej płynna [21].

Istotny jest też rozwój lakaz bakteryjnych i metagenomicznych. Klasyczne lakazy grzybowe są dobrze poznane, ale nie zawsze stabilne w trudnych warunkach przemysłowych. Analizy metagenomiczne ścieków przemysłowych oraz symulacje komputerowe są wykorzystywane do wyszukiwania nowych oksydaz wielomiedziowych, które mogą lepiej tolerować ekstremalne pH, temperaturę, zasolenie lub inhibitory [16].

Jak realistycznie ocenić zastosowanie Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater?

Najbardziej realistyczne zastosowanie lakazy to etap ukierunkowany na konkretny problem jakości ścieku: barwę, fenole, polifenole, wybrane aromatyczne mikrozanieczyszczenia lub poprawę podatności ścieku na dalsze oczyszczanie. W takim ujęciu enzym nie konkuruje z całym ciągiem technologicznym, lecz uzupełnia go tam, gdzie mechanizm oksydacyjny lakazy ma przewagę nad procesami nioselektywnymi [1].

W ocenie technologicznej warto rozdzielić trzy poziomy efektu: dekoloryzację, degradację związku macierzystego i redukcję toksyczności. Dla barwników najłatwiej zauważyć zmianę koloru, ale z perspektywy środowiskowej ważniejsze jest, czy produkty transformacji są mniej trwałe i mniej szkodliwe. Dla antybiotyków i farmaceutyków sama degradacja chemiczna może być niewystarczającym kryterium, co wyraźnie pokazują badania nad enzymatycznym usuwaniem antybiotyków [2].

W zastosowaniach przemysłowych lakaza powinna być traktowana jako biokatalizator zależny od matrycy. Ten sam enzym może działać bardzo dobrze w jednym strumieniu, a znacznie słabiej w innym, jeśli zmienia się pH, zasolenie, obecność detergentów, stężenie fenoli lub charakter barwników. Z tego powodu literatura techniczna konsekwentnie rozwija formy immobilizowane, hybrydowe i bardziej odporne enzymy lakkazopodobne [17].

Informacje produktowe dla klientów Enzymes.bio

Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater CAS 80498-15-3 jest oferowany przez Enzymes.bio jako produkt dostępny online w jednostkach 1 kg. Enzymes.bio jest dostawcą, a nie producentem ani laboratorium wykonującym badania aplikacyjne. Dokumenty CoA i SDS są

dostarczane wraz z zamówieniem.

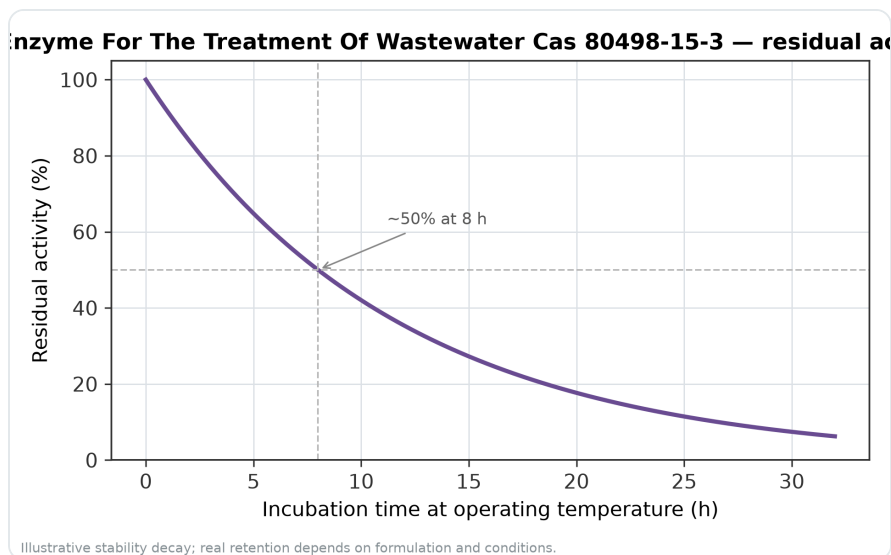


Figure 8. 폐수 처리용 라카아제 효소(CAS 80498-15-3)의 예시적 열 안정성 감소 곡선으로, 운전 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소하는 양상을 보여줍니다.

W kontekście użytkowym produkt należy rozumieć jako enzymatyczne narzędzie do procesów związanych z oczyszczaniem ścieków, szczególnie tam, gdzie pożądane jest biologiczne utlenianie barwników, fenoli lub wybranych związków aromatycznych. Najsilniejsze podstawy naukowe dotyczą odbarwiania i transformacji związków fenolowych, natomiast zastosowania dla farmaceutyków, antybiotyków i złożonych mikrozanieczyszczeń wymagają bardziej ostrożnej interpretacji, ponieważ produkty transformacji mogą wymagać dalszego oczyszczania lub oceny [2].

Podsumowanie techniczne

Lakaza CAS 80498-15-3 jest enzymem oksydoredukcyjnym o szczególnym znaczeniu dla oczyszczania ścieków zawierających barwniki, fenole, polifenole i część mikrozanieczyszczeń aromatycznych. Jej mechanizm polega na przenoszeniu elektronów z substratu organicznego na tlen, co pozwala prowadzić reakcje utleniania w warunkach wodnych i relatywnie łagodnych w porównaniu z wieloma chemicznymi metodami utleniania [1].

Najbardziej dojrzałe zastosowania obejmują odbarwianie ścieków tekstylnych oraz przekształcanie związków fenolowych. Rozwijające się obszary to immobilizowane biokatalizatory, reaktory ze złożem stałym lub magnetycznie wspomaganym, hybrydowe materiały enzymatyczne oraz nowe lakazy bakteryjne i metagenomiczne o większej odporności na warunki przemysłowe [13].

Najważniejsze ograniczenia to zależność od składu ścieku, możliwa dezaktywacja enzymu, niepełna mineralizacja oraz fakt, że degradacja związku wyjściowego nie zawsze oznacza spadek toksyczności. Dlatego lakaza jest najlepiej rozumiana jako wyspecjalizowany element procesu doczyszczania lub odbarwiania, a nie uniwersalny zamiennik wszystkich etapów oczyszczania ścieków ^[2].

Zamów Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater Cas 80498-15-3 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 Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater Cas 80498-15-3 →](#)

Bibliografia

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

1. Younus, H., Khan, M. A., Khan, A., & Alhumaydhi, F. (2025). Eco-Friendly Biocatalysts: Laccase Applications, Innovations, and Future Directions in Environmental Remediation. *Catalysts*.
2. Becker, D., Giustina, S. V. D., Rodríguez-Mozaz, S., Schoevaart, R., Barceló, D., Cazes, M., Belleville, M., ... et al. (2016). Removal of antibiotics in wastewater by enzymatic treatment with fungal laccase - Degradation of compounds does not always eliminate toxicity. *Bioresource Technology*, 219, 500-509 .
3. Onaizi, S. (2021). Enzymatic Treatment of Phenolic Wastewater: Effects of Salinity and Biosurfactant Addition.
4. Yang, X., Zhao, J., Cavaco-Paulo, A., Su, J., & Wang, H. (2023). Encapsulated laccase in bimetallic Cu/Zn ZIFs as stable and reusable biocatalyst for decolorization of dye wastewater. *International Journal of Biological Macromolecules*, 123410 .
5. Maniyam, M. N., Gunalan, P., Azman, H. H., Abdullah, H., & Yaacob, N. (2024). Decolorization of selected industrial synthetic dyes using laccase from an indigenous isolate strain SK1. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*.
6. Nouaa, S., Aziam, R., Carja, G., Chiban, M., & Froidevaux, R. (2025). Immobilization of Trametes versicolor laccase on LDH/alginate composite beads for improved textile dyes decolorization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 140577 .
7. Shah, A. A., Walia, S., & Kazemian, H. (2024). Advancements in combined electrocoagulation processes for sustainable wastewater treatment: A comprehensive review of mechanisms, performance, and emerging applications. *Water Research*, 252, 121248 .
8. Mukherjee, S., Basak, B., Bhunia, B., Dey, A., & Mondal, B. (2013). Potential use of polyphenol oxidases (PPO) in the bioremediation of phenolic contaminants containing industrial wastewater. *Reviews in Environmental Science and*

Bio\technology, 12, 61-73.

9. Athanasiou, P. E., Gkountela, C., Patila, M., Fotiadou, R., Chatzikonstantinou, A., Vouyiouka, S., & Stamatis, H. (2024). Laccase-Mediated Oxidation of Phenolic Compounds from Wine Lees Extract towards the Synthesis of Polymers with Potential Applications in Food Packaging. *Biomolecules*, 14.
10. Strong, P., & Burgess, J. (2008). Fungal and enzymatic remediation of a wine lees and five wine-related distillery wastewaters. *Bioresource Technology*, 99 14, 6134-42 .
11. Chang, H., Liu, Y., Keng, C., Jiang, H., & Hu, J. (2024). Challenges of industrial wastewater treatment: utilizing Membrane bioreactors (MBRs) in conjunction with artificial intelligence (AI) technology. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 41, 422 - 427.
12. Yadav, D., Ranjan, B., Mchunu, N. P., Roes-Hill, M., & Kudanga, T. (2021). Enzymatic treatment of phenolic pollutants by a small laccase immobilized on APTES-functionalised magnetic nanoparticles. *3 Biotech*, 11.
13. Xia, T., Mei-Feng, Liu, C., Liu, C., & Guo, C. (2021). Efficient phenol degradation by laccase immobilized on functional magnetic nanoparticles in fixed bed reactor under high-gradient magnetic field. *Engineering in Life Sciences*, 21, 374 - 381.
14. Wang, F., Hu, Y., Guo, C., Huang, W., & Liu, C. (2012). Enhanced phenol degradation in coking wastewater by immobilized laccase on magnetic mesoporous silica nanoparticles in a magnetically stabilized fluidized bed. *Bioresource Technology*, 110, 120-4 .
15. Yuan, Y., Sang, Q., Liu, H., Yang, Z., Xie, C., & Ren, S. (2026). Metal-organic framework-hybridized immobilized laccase for the efficient degradation of industrial wastewater pollutants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 309, 119668 .
16. Cui, T., Kushmaro, A., Barak, H., Poehlein, A., Daniel, R., & Mägert, H. (2025). Enhanced discovery of bacterial laccase-like multicopper oxidase through computer simulation and metagenomic analysis of industrial wastewater. *FEBS Open Bio*, 15, 1090 - 1102.
17. Yang, Q., Zhang, M., Zhang, M., Wang, C., Liu, Y., Xin-Fan, & Li, H. (2018). Characterization of a Novel, Cold-Adapted, and Thermostable Laccase-Like Enzyme With High Tolerance for Organic Solvents and Salt and Potent Dye Decolorization Ability, Derived From a Marine Metagenomic Library. *Frontiers in Microbiology*, 9.
18. Maurya, A., Kumar, R., & Raj, A. (2023). Biofilm-based technology for industrial wastewater treatment: current technology, applications and future perspectives. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 39.
19. Hommes, G., Gasser, C., Howald, C. B. C., Goers, R., Schlosser, D., Shahgaldian, P., & Corvini, P. (2012). Production of a robust nanobiocatalyst for municipal wastewater treatment. *Bioresource Technology*, 115, 8-15 .
20. Apollon, W., Rusyn, I., Kuleshova, T., Luna-Maldonado, A., Pierre, J. F., Gwenzi, W., & Kumar, V. (2024). An overview of agro-industrial wastewater treatment using microbial fuel cells: Recent advancements. *Journal of Water Process Engineering*.
21. Yuan, L., Chai, J., Wang, S., Li, T., Yan, X., Wang, J., & Yin, H. (2023). Biomimetic Laccase-Cu₂O@MOF for synergetic degradation and colorimetric detection of phenolic compounds in wastewater. *Environmental Technology & Innovation*.

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.