

Laccase per chiarificazione, stabilizzazione dei polifenoli, lignina e bioprocessi: meccanismo, struttura e applicazioni industriali

Team di ricerca Enzymes.bio · Wellington, Nuova Zelanda · June 20, 2026

La **laccase** è un enzima ossidativo multicopper che trasferisce elettroni da substrati fenolici e aromatici all'ossigeno, riducendo quest'ultimo ad acqua. Per l'industria è utile quando un processo deve gestire polifenoli, lignina, colore, torbidità, reticolazione o degradazione selettiva di composti ossidabili in matrici alimentari, bevande, fibre vegetali, tessili o ambientali ^[1].

Che cos'è la laccase e perché interessa nei processi B2B

La laccase, spesso indicata anche come **laccasi** in italiano, appartiene alla famiglia delle ossidasi multicopper. La sua caratteristica distintiva è l'uso di centri rameici per catalizzare reazioni di ossidazione a un elettrone su un'ampia gamma di substrati, tra cui fenoli, ammine aromatiche, composti ligninici e altri intermedi aromatici. Nelle applicazioni industriali, questo profilo catalitico la rende rilevante non come "enzima universale", ma come biocatalizzatore per trasformazioni ossidative controllate ^[2].

Il termine **laccase enzyme** ricorre spesso nella letteratura tecnica perché l'enzima è studiato in campi molto diversi: alimenti e bevande, pasta e carta, tessile, bioremediation, biosensori, biocarburanti e valorizzazione di biomasse lignocellulosiche. Il filo conduttore è la capacità della laccase di agire su molecole ossidabili che influenzano stabilità, colore, aggregazione, filtrabilità o degradabilità della matrice ^[2].

Per Enzymes.bio, la laccase va quindi presentata come un enzima di processo per uso professionale, disponibile online in unità da **1 kg**. Enzymes.bio opera come fornitore online e non come produttore o laboratorio; CoA e SDS sono forniti insieme all'ordine. Il prodotto è destinato a impieghi industriali e di trasformazione, non al consumo diretto .

Laccase structure: sito attivo, rame e peso molecolare

La **laccase structure** è definita dalla presenza di più atomi di rame organizzati in centri catalitici distinti. In termini funzionali, il **laccase active site** comprende un centro rameico di tipo 1, coinvolto nell'ossidazione del substrato, e un cluster trinucleare formato da rame di tipo 2 e tipo 3, dove l'ossigeno molecolare viene ridotto ad acqua. Questa architettura consente all'enzima di accoppiare l'ossidazione di substrati organici con la riduzione dell'ossigeno [1].

Il **laccase mechanism of action** dipende da questa separazione dei ruoli: il substrato dona un elettrone al centro rameico di tipo 1; l'elettrone viene trasferito internamente verso il cluster trinucleare; l'ossigeno riceve complessivamente quattro elettroni e viene convertito in acqua. Questa sequenza spiega perché la laccase sia spesso descritta come enzima "verde": l'accettore finale è l'ossigeno e il prodotto della sua riduzione è acqua, anche se l'effetto pratico sulla matrice dipende dai substrati disponibili e dalle condizioni operative [3].

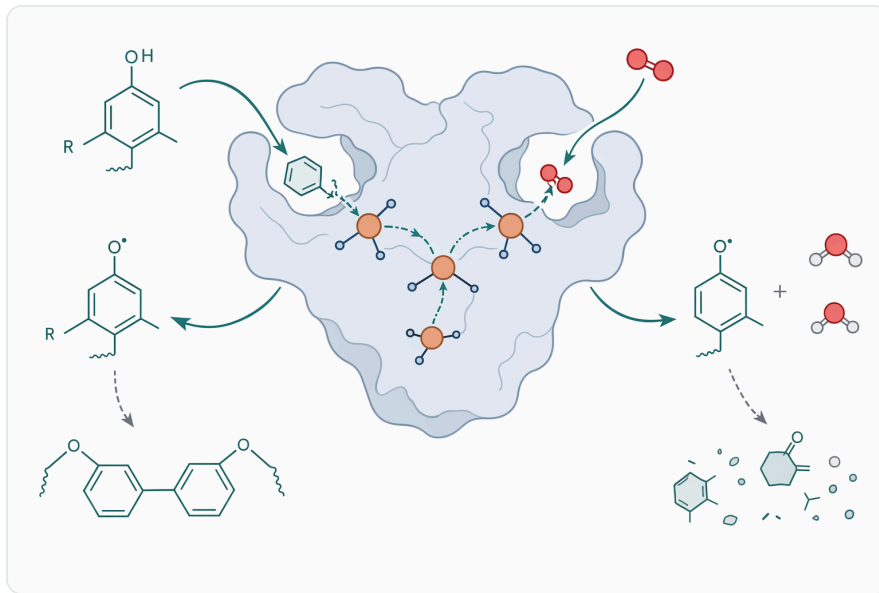


Figure 1. 라카아제는 페놀성 기질을 1전자 산화시키는 동시에 산소를 물로 환원합니다.

Il **laccase molecular weight** varia in funzione dell'origine biologica, della glicosilazione e dell'isoenzima considerato. Le laccasi fungine sono generalmente glicoproteine extracellulari e, nella letteratura di revisione, sono descritte come enzimi con massa molecolare nell'intervallo tipico delle proteine secretorie di funghi filamentosi, spesso nell'ordine di decine di kilodalton. Questa variabilità è importante perché due laccasi con lo stesso nome funzionale possono differire per stabilità, affinità verso substrati, pH operativo e comportamento in matrici complesse [4].

Tra le fonti più studiate rientrano le laccasi fungine da funghi del marciume bianco. La **laccase from *Trametes versicolor***, o ***Trametes versicolor* laccase**, è uno degli esempi ricorrenti nella letteratura perché questo fungo è associato alla degradazione ossidativa della lignina e alla secrezione di enzimi extracellulari capaci di trasformare composti aromatici. Questo non significa che ogni laccase commerciale abbia le stesse proprietà di un enzima purificato da *Trametes versicolor*, ma il riferimento è utile per comprendere il modello biochimico alla base della tecnologia ^[2].

Laccase reaction mechanism: cosa avviene durante l'ossidazione

La **laccase reaction** è una reazione di ossidazione mono-elettronica. Il substrato, spesso un fenolo o un'ammina aromatica, perde un elettrone e forma un radicale o un intermedio ossidato. Questi intermedi possono seguire vie diverse: accoppiamento radicalico, polimerizzazione, depolimerizzazione parziale, trasformazione in chinoni, reticolazione con altre molecole o perdita di solubilità. L'effetto osservabile non è quindi solo "ossidazione", ma una cascata di reazioni secondarie dipendenti dalla matrice ^[1].

Questa distinzione è centrale per capire la **laccase mechanism** in applicazioni reali. In una bevanda ricca di polifenoli, l'ossidazione può favorire l'aggregazione di composti responsabili di torbidità o instabilità colloidale. In una matrice lignocellulosica, può contribuire alla modifica di frammenti ligninici o composti fenolici legati alla parete vegetale. In un effluente contenente fenoli o residui aromatici, può trasformare molecole recalcitranti in prodotti più facilmente separabili o ulteriormente degradabili ^[3].

La laccase può anche lavorare in presenza di mediatori redox, molecole piccole che ampliano il raggio d'azione dell'enzima trasferendo elettroni da substrati che l'enzima non ossiderebbe efficientemente per contatto diretto. Questo concetto è particolarmente discusso nelle applicazioni su lignina, coloranti, contaminanti e composti non fenolici, ma richiede una progettazione di processo più attenta perché il mediatore diventa parte della chimica applicativa ^[1].

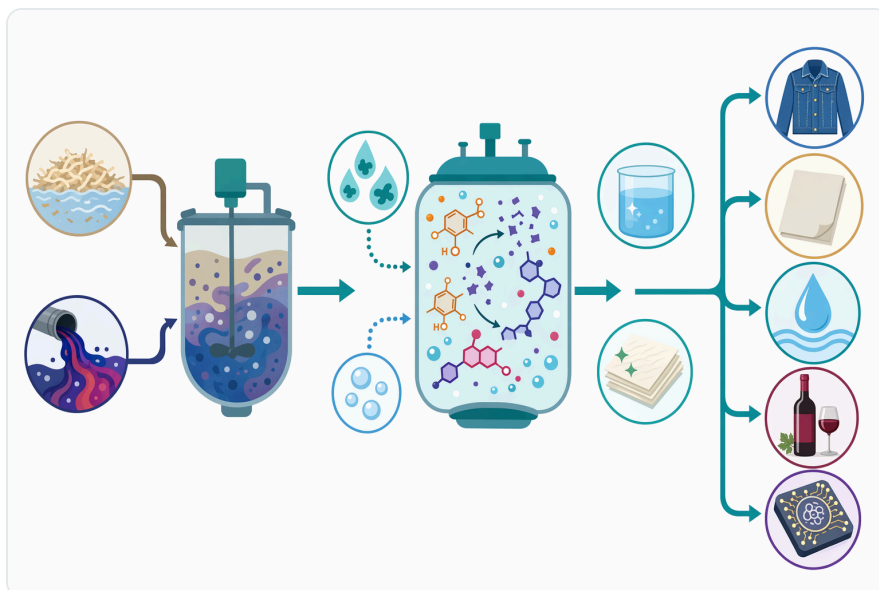


Figure 2. 산업용 라카아제 공정은 산소 기반 산화를 이용해 리그닌, 염료, 페놀류 및 기타 방향족 화합물을 변형합니다.

Laccase substrates: fenoli, lignina, coloranti e composti aromatici

I principali **laccase substrates** includono fenoli semplici, polifenoli, catecoli, guaiacoli, siringoli, ammine aromatiche, composti derivati dalla lignina e diversi coloranti o intermedi industriali. In molti casi la reattività dipende dal potenziale redox del substrato, dalla sua accessibilità al sito attivo, dalla solubilità, dal pH e dalla presenza di sostanze che possono competere o inibire l'enzima [2].

La relazione tra **laccase lignin** e processi industriali è particolarmente rilevante. La lignina è una rete aromatica complessa, ricca di unità fenilpropanoidi, che contribuisce alla rigidità della biomassa vegetale e alla resistenza alla degradazione. Le laccasi fungine sono coinvolte in processi naturali di trasformazione della lignina e per questo sono studiate in biorefineries, pretrattamento di biomasse, modificazione di fibre, produzione di carta e valorizzazione di residui agroindustriali [5].

La laccase non agisce però su qualsiasi composto aromatico con la stessa efficienza. Molecole non fenoliche, substrati poco solubili o composti con potenziale redox elevato possono richiedere mediatori, tempi più lunghi o condizioni di processo specifiche. Per questo le review insistono sul fatto che la versatilità dell'enzima va interpretata come ampia possibilità applicativa, non come garanzia di prestazione identica in tutte le matrici [1].

Tabella comparativa: applicazioni, substrati e risultato tecnologico

Area applicativa	Substrati o componenti coinvolti	Effetto tecnologico atteso	Aspetti da controllare
Succhi e bevande	Polifenoli, fenoli ossidabili, composti responsabili di colore e haze	Chiarificazione, stabilizzazione colloidale, supporto alla filtrazione	Ossigeno disponibile, tempo di contatto, composizione fenolica, fase di separazione
Vino e birra	Polifenoli, tannini, composti aromatici ossidabili	Gestione della stabilità, controllo del colore, riduzione di instabilità specifiche	Impatto sensoriale, ossidazione indesiderata, integrazione nel processo
Baking e impasti	Composti fenolici della farina, macromolecole interagenti	Reticolazione ossidativa, modifica della struttura dell'impasto e della mollica	Tipo di farina, idratazione, tempo di impasto, compatibilità con altri enzimi
Lignocellulosa e biorefineries	Lignina, frammenti ligninici, fenoli vegetali	Modifica della lignina, funzionalizzazione o supporto a pretrattamenti	Accessibilità del substrato, pH, mediatori, solidi sospesi
Tessile e coloranti	Coloranti aromatici, fenoli, ammine	Decolorazione, modifica superficiale, trattamenti ossidativi selettivi	Stabilità del colore desiderato, compatibilità fibra-processo
Bioremediation	Fenoli, residui farmaceutici, inquinanti aromatici	Trasformazione o detossificazione parziale di contaminanti	Matrice ambientale, inibitori, immobilizzazione, riutilizzo

Questa tabella mostra perché le **laccase applications** non possono essere ridotte a una singola funzione. Lo stesso meccanismo ossidativo può produrre chiarificazione in una bevanda, reticolazione in un impasto, decolorazione in un bagno tessile o trasformazione di contaminanti in un trattamento ambientale. L'utilità pratica dipende dalla corrispondenza tra substrato, matrice e obiettivo di processo [\[2\]](#).

Applicazioni in bevande: succhi, stabilità e filtrazione

Nelle bevande, la laccase è soprattutto collegata alla gestione dei polifenoli. Questi composti possono contribuire a colore, astringenza, ossidazione, instabilità colloidale e formazione di torbidità. Quando la laccase ossida una frazione di polifenoli reattivi, gli intermedi possono accoppiarsi tra loro, aumentare di dimensione o diventare più facilmente rimovibili tramite separazione o filtrazione [\[3\]](#).

In succhi di mela, uva, frutti rossi o altre matrici ricche di fenoli, il razionale tecnologico è la trasformazione controllata di componenti che influenzano limpidezza e stabilità. La laccase non “rimuove” meccanicamente i polifenoli: catalizza una trasformazione chimica che può renderli più inclini ad aggregarsi o interagire con altri componenti. L’effetto finale dipende dalla composizione del succo, dal contenuto di ossigeno, dalle condizioni di processo e dai passaggi a valle [2].

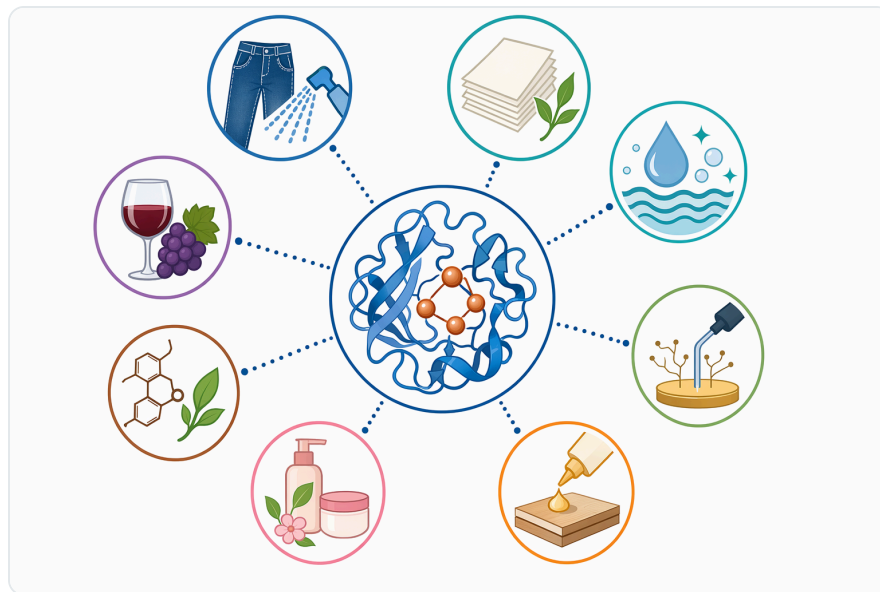


Figure 3. 라카아제는 섬유, 펄프 및 제지, 환경 처리, 식음료 가공, 바이오 기반 소재 등 다양한 분야에서 사용됩니다.

Per questo motivo, nelle bevande la laccase deve essere considerata uno strumento di processo e non un correttivo sensoriale generico. Un uso non coerente con la matrice può influenzare colore, aroma o profilo fenolico in modo non desiderato. Le applicazioni più solide sono quelle in cui l’obiettivo è chiaramente definito: migliorare la filtrabilità, ridurre una torbidità specifica, gestire instabilità fenoliche o supportare la standardizzazione del processo [3].

Laccase in wine e birrificazione: gestione dei polifenoli

La **laccase in wine** richiede particolare attenzione perché il vino è una matrice sensorialmente sensibile. I polifenoli partecipano a colore, struttura, astringenza, evoluzione ossidativa e stabilità. La laccase può intervenire su questa frazione fenolica, ma proprio per questo il suo impiego deve essere collegato a un obiettivo tecnico preciso, come la gestione di determinati precursori di instabilità o il controllo di fenomeni ossidativi specifici [2].

Nel caso della birra, la logica è analoga: polifenoli e proteine contribuiscono alla stabilità colloidale e alla possibile formazione di haze. L’ossidazione enzimatica di fenoli selezionati può modificare la loro capacità di interagire con proteine o altri costituenti. Tuttavia, poiché colore, schiuma, aroma e

mouthfeel sono parametri critici, l'enzima deve essere integrato nel processo con attenzione alla matrice e alla fase di utilizzo [3].

È quindi più corretto parlare di “gestione dei polifenoli” che di miglioramento qualitativo universale. La laccase può essere utile quando il problema di processo è effettivamente legato a substrati ossidabili compatibili con l'enzima. Se l'instabilità deriva da altre cause, come contaminazioni microbiologiche, problemi di filtrazione non fenolici o squilibri di formulazione, il meccanismo della laccase potrebbe non essere pertinente [1].

Baking e trasformazione alimentare: reticolazione ossidativa

Nel baking, la laccase è studiata per la sua capacità di promuovere reazioni di reticolazione ossidativa. Le farine e altri ingredienti vegetali contengono composti fenolici e macromolecole che possono partecipare a interazioni complesse durante impasto, lievitazione e cottura. L'ossidazione catalizzata dalla laccase può influenzare la rete strutturale dell'impasto e contribuire a modifiche di lavorabilità, elasticità o struttura finale [2].



Figure 4. 강한 화학적 산화 공정에 비해 라카아제 처리는 화학물질 사용량을 줄이면서 방향족 기질을 선택적으로 산화할 수 있습니다.

Il meccanismo non coincide con quello di enzimi idrolitici come amilasi o xilanasi. La laccase non scinde principalmente legami polisaccaridici o proteici; agisce invece su substrati ossidabili, generando intermedi capaci di accoppiarsi o reagire con altri componenti della matrice. Questo spiega perché l'effetto in baking sia spesso descritto in termini di reticolazione, struttura e gestione delle interazioni tra frazioni fenoliche e macromolecolari [1].

Anche in questo settore la matrice è decisiva. Farine integrali, ingredienti ricchi di crusca, fibre vegetali e formulazioni con componenti fenoliche possono offrire più substrati potenziali rispetto a matrici molto raffinate. La risposta dell'impasto dipende inoltre da idratazione, tempi di lavorazione, presenza di ossigeno e co-uso di altri enzimi alimentari ^[2].

Laccase lignin: carta, fibre vegetali e biorefineries

La relazione tra laccase e lignina è una delle ragioni storiche dell'interesse industriale per questo enzima. I funghi del marciume bianco producono sistemi ossidativi extracellulari coinvolti nella trasformazione della lignina, e la laccase è uno degli enzimi più studiati in questo contesto. Nelle biorefineries, la capacità di modificare frazioni ligniniche è rilevante per migliorare accessibilità della biomassa, funzionalizzare materiali o valorizzare residui agroindustriali ^[5].

Nel settore carta e fibre, la laccase può essere usata come componente di strategie di biobleaching, modifica superficiale o trattamento di composti fenolici associati alla lignina. L'azione diretta su strutture ligniniche complesse può essere limitata dalla dimensione del substrato e dall'accessibilità dei gruppi reattivi; per questo vengono spesso studiati sistemi laccase-mediatore o condizioni che aumentano il contatto tra enzima e componenti lignocellulosiche ^[1].

La comunicazione tecnica deve evitare l'idea semplificata che la laccase "degradi la lignina" in ogni condizione. Più precisamente, la laccase ossida unità fenoliche e intermedi correlati alla lignina; da queste ossidazioni possono derivare depolimerizzazione, polimerizzazione, reticolazione o funzionalizzazione, a seconda del sistema. La stessa reazione di base può quindi avere esiti opposti se cambiano substrato, mediatore e ambiente di reazione ^[3].

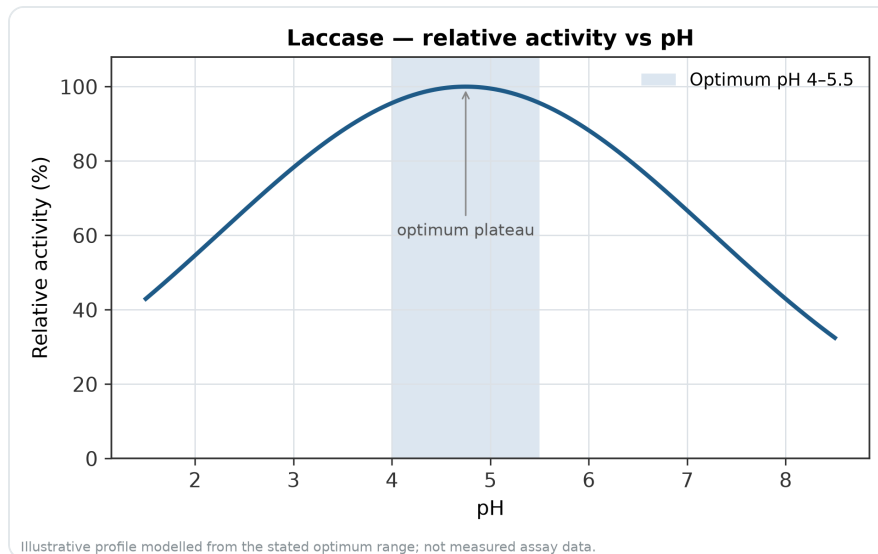


Figure 5. pH에 따른 라카아제의 상대 활성으로, pH 4-5.5에서 최적 활성 구간이 나타납니다.

Tessile, coloranti e modifiche superficiali

Nel tessile, la laccase è studiata per decolorazione di coloranti, modifica di fibre naturali e trattamenti ossidativi a condizioni relativamente miti. Molti coloranti industriali contengono strutture aromatiche che possono essere trasformate tramite ossidazione enzimatica, direttamente o con l'aiuto di mediatori. Questo rende la laccase interessante nei processi che mirano a ridurre l'uso di ossidanti chimici più aggressivi [2].

L'effetto non è però automaticamente desiderabile per ogni colorante o fibra. Se il colore deve essere preservato, l'ossidazione può rappresentare un rischio; se l'obiettivo è decolorare un effluente o modificare una superficie, può essere un vantaggio. L'applicazione tessile richiede quindi una distinzione netta tra trattamento del materiale, trattamento del bagno di tintura e trattamento dell'effluente [3].

La laccase può anche essere impiegata per creare legami o innesti superficiali su materiali contenenti gruppi fenolici o aromatici. Le review sulle reazioni di formazione e rottura di legami catalizzate da laccase evidenziano che l'enzima può partecipare sia a processi di sintesi ossidativa sia a trasformazioni degradative. Questo doppio comportamento è una delle sue qualità più interessanti, ma anche una delle ragioni per cui il processo deve essere controllato [1].

Bioremediation: contaminanti fenolici, antibiotici e inquinanti emergenti

La bioremediation è un'area in cui la laccase riceve molta attenzione perché numerosi contaminanti ambientali contengono anelli aromatici o gruppi ossidabili. Residui farmaceutici, composti fenolici, coloranti e alcuni inquinanti emergenti possono essere trasformati tramite reazioni catalizzate da laccase, con potenziale riduzione di tossicità, maggiore biodegradabilità o facilitazione della rimozione [6].

Le review sulla detossificazione dei composti fenolici distinguono tra laccase libera e immobilizzata. La laccase libera può essere adatta a trattamenti batch o a matrici relativamente controllate; l'immobilizzazione, invece, può migliorare riutilizzabilità, protezione dall'ambiente e stabilità operativa in sistemi complessi. Questa distinzione è particolarmente rilevante in acque reflue, suoli o sistemi con variazioni di pH, salinità, particolato e contaminanti multipli [3].

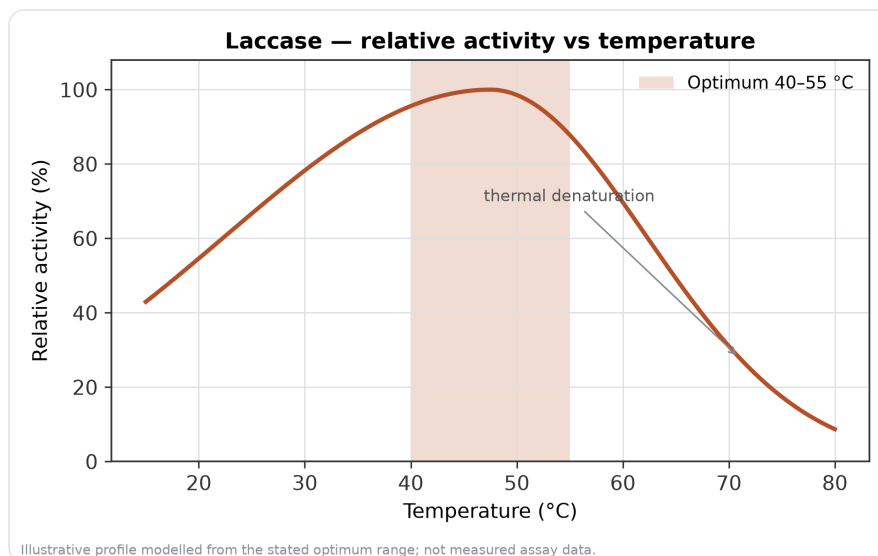


Figure 6. 온도에 따른 라카아제의 상대 활성으로, 40-55°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열변성으로 인한 특징적인 활성 감소가 나타납니다.

Uno studio su enzimi extracellulari di funghi del marciume bianco in microambienti idrogel ha mostrato l'interesse di supporti e microambienti progettati per migliorare le prestazioni enzimatiche in suoli contaminati da benzo[a]pirene. Il punto applicativo è che, nelle matrici ambientali, non basta la presenza dell'enzima: il microambiente, la diffusione del substrato e la protezione dell'attività enzimatica influenzano fortemente il risultato [7].

Fattori che influenzano la prestazione della laccase

La prestazione della laccase dipende innanzitutto dalla presenza di substrati ossidabili. Se la matrice contiene pochi fenoli accessibili o composti con potenziale redox troppo elevato, l'effetto può essere limitato. In questi casi possono essere necessari mediatori o condizioni che aumentino l'accessibilità del substrato, ma ciò trasforma l'applicazione in un sistema redox più complesso ^[1].

L'ossigeno è un altro fattore chiave. Poiché l'enzima riduce l'ossigeno ad acqua, una disponibilità insufficiente di ossigeno può limitare il ciclo catalitico. In pratica, miscelazione, geometria del reattore, viscosità, presenza di solidi e tempo di contatto possono influenzare il grado di conversione anche quando l'enzima è presente in quantità adeguata ^[3].

pH e temperatura incidono sulla conformazione dell'enzima, sullo stato ionico dei substrati e sulla stabilità degli intermedi radicalici. Non esiste una condizione universale valida per tutte le laccasi e tutte le matrici: una formulazione per bevande, un impasto, una sospensione lignocellulosica e un effluente tessile presentano vincoli completamente diversi. Le review industriali sottolineano infatti la necessità di considerare l'applicazione specifica, più che l'enzima in astratto ^[2].

Anche gli inibitori possono essere rilevanti. Ioni metallici e componenti della matrice possono interferire con la catalisi, alterare gli intermedi o ridurre la conversione del substrato. Uno studio su Fe^{2+}/Fe^{3+} e Mn^{2+} ha analizzato l'inibizione della polimerizzazione del bisfenolo A abilitata da laccase fungina, evidenziando che la composizione ionica può modificare la reazione e non deve essere ignorata nelle matrici reali ^[8].

Laccase purification e variabilità tra enzimi

Il termine **laccase purification** compare spesso nella ricerca perché lo studio di un enzima isolato consente di caratterizzarne struttura, massa molecolare, substrati preferiti e stabilità. Tuttavia, nei processi industriali il punto non è replicare un protocollo accademico di purificazione, ma comprendere che laccasi da fonti diverse possono comportarsi in modo diverso. Origine biologica, isoforme, glicosilazione e formulazione influenzano il profilo applicativo ^[4].

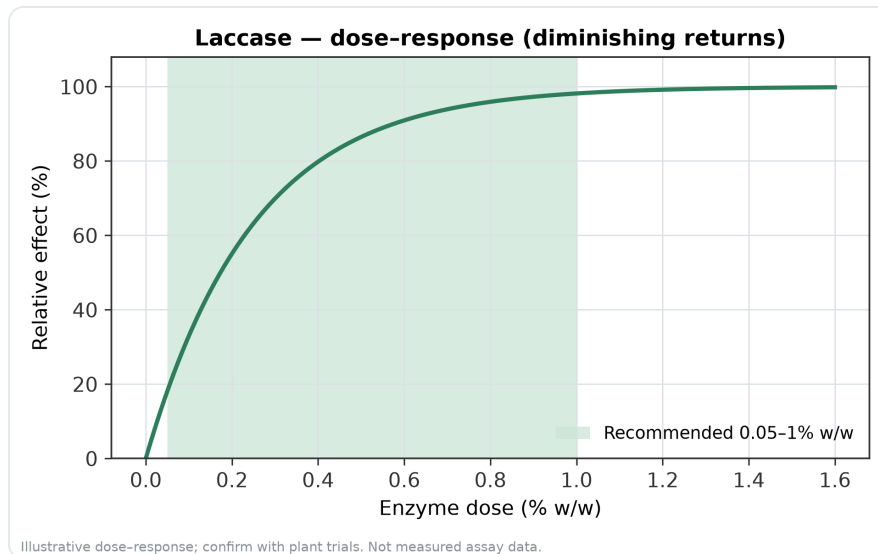


Figure 7. 권장 사용 범위(0.05–1% w/w)에서 라카아제의 용량-반응 관계를 예시한 그림입니다.

Le laccasi fungine sono generalmente extracellulari e spesso più studiate per applicazioni industriali rispetto a molte laccasi batteriche, ma le laccasi batteriche possono presentare proprietà interessanti in termini di robustezza o condizioni operative. La scelta concettuale non dovrebbe basarsi solo sul nome “laccase”, bensì sul fatto che il comportamento dell’enzima sia coerente con substrato, matrice e obiettivo [2].

Per un fornitore online come Enzymes.bio è importante mantenere la distinzione tra contenuto educativo e scheda di prodotto. Le informazioni scientifiche spiegano cosa può fare la laccase e perché; la documentazione dell’ordine, come CoA e SDS, accompagna il prodotto acquistato online. Enzymes.bio non va interpretato come laboratorio di prova o produttore dell’enzima .

Benefici realistici e limiti applicativi

Il primo beneficio realistico della laccase è la possibilità di eseguire ossidazioni selettive usando ossigeno come accettore finale di elettroni. Questo la rende interessante in processi che cercano alternative o integrazioni a ossidanti chimici, soprattutto quando i substrati bersaglio sono fenolici o aromatici [1].

Il secondo beneficio è la flessibilità applicativa. Le review industriali documentano l’interesse della laccase in food processing, bevande, carta, tessile, bioremediation, biosensori, biocarburanti e biotecnologie ambientali. Questa trasversalità non deriva da funzioni scollegate, ma da un unico principio catalitico applicato a substrati ossidabili presenti in settori diversi [2].

Il limite principale è la dipendenza dalla matrice. In un sistema semplice, la reazione può essere prevedibile; in alimenti, effluenti, biomasse o suoli, invece, co-substrati, inibitori, ossigeno, pH, viscosità e solidi sospesi possono modificare il risultato. Per questo la letteratura più recente continua a discutere immobilizzazione, mediatori, supporti e sistemi ibridi come strategie per aumentare robustezza e controllo [3].

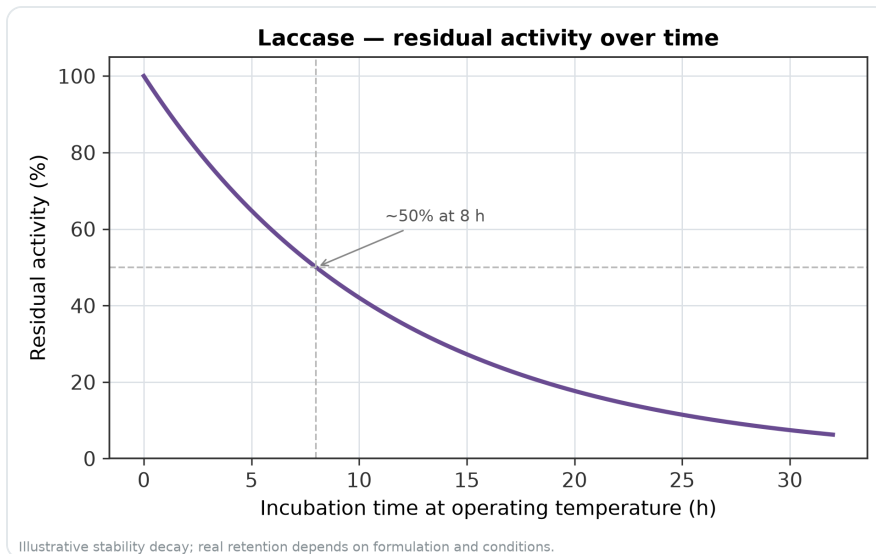


Figure 8. 라카아제의 열 안정성 감소 예시 — 작동 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소합니다.

Un secondo limite è il possibile esito ambiguo dell'ossidazione. La stessa laccase può favorire polimerizzazione o degradazione, chiarificazione o scurimento, detossificazione o formazione di intermedi transitori, a seconda del contesto. La comunicazione tecnica corretta deve quindi evitare affermazioni assolute e collegare sempre l'effetto atteso al substrato e al processo [1].

Come posizionare la laccase Enzymes.bio in modo corretto

Per Enzymes.bio, la laccase può essere descritta come un enzima di processo per ossidazioni controllate di composti fenolici e aromatici, con applicazioni potenziali in bevande, vino, birra, baking, matrici lignocellulosiche, tessile e bioprocessi. Il prodotto è venduto direttamente online in unità da 1 kg; CoA e SDS sono forniti insieme all'ordine .

La formulazione più accurata è: la laccase può supportare chiarificazione, stabilizzazione dei polifenoli, modifiche ossidative, reticolazione, trattamento di lignina e trasformazione di contaminanti quando la matrice contiene substrati compatibili e il processo garantisce condizioni adeguate di ossigeno, contatto e controllo operativo. Questa descrizione riflette il **laccase reaction mechanism** senza promettere risultati indipendenti dal contesto [2].

In sintesi, la laccase è un biocatalizzatore industriale versatile ma non generico. Il suo valore emerge quando l'applicazione è costruita attorno alla sua chimica: ossidazione mono-elettronica di substrati fenolici o aromatici, trasferimento degli elettroni ai centri rameici e riduzione finale dell'ossigeno ad acqua. In questo quadro, la laccase offerta da Enzymes.bio si inserisce come prodotto online per utilizzatori professionali che cercano un enzima ossidativo per processi B2B documentati e coerenti con la letteratura tecnica .

Ordina Laccase online

Venduto in unità da 1 kg, disponibile a magazzino e pronto per la spedizione. Ordina direttamente dal nostro store: paga online e noi elaboriamo il tuo ordine. Un Certificato di Analisi e una Scheda Dati di Sicurezza sono inclusi in ogni ordine.

[Acquista Laccase →](#)

Riferimenti

Numerati in ordine di prima citazione. Fonti open access, ciascuna verificata come raggiungibile al momento della pubblicazione; i numeri di citazione nel testo rimandano qui.

1. Lin, H., Yu, Z., Wang, Q., Liu, Y., Jiang, L., Xu, C., & Xian, M. (2023). [Application of Laccase Catalysis in Bond Formation and Breakage: A Review](#). *Catalysts*.
2. Dana, M., Khaniki, G., Mokhtarieh, A., & Davarpanah, S. J. (2017). [Biotechnological and Industrial Applications of Laccase: A Review](#). *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 4, 675-679.
3. Rostami, A., Abdelrasoul, A., Shokri, Z., & Shirvandi, Z. (2022). [Applications and mechanisms of free and immobilized laccase in detoxification of phenolic compounds — A review](#). *Korean Journal of Chemical Engineering*, 1-12.
4. [Pmc3132468](#). *PubMed Central*.
5. [Sustainable Biotechnological Approaches for Fungal Laccase Production: Valorization of Agro-Industrial Residues through Solid-State Fermentation](#). *Semantic Scholar* (2026).
6. Ezra, R., Vanti, G. L., & Masaphy, S. (2025). [Sustainable, Targeted, and Cost-Effective Laccase-Based Bioremediation Technologies for Antibiotic Residues in the Ecosystem: A Comprehensive Review](#). *Biomolecules*, 15.
7. Wang, L., Li, Y., Du, X., Jing-Wu, Zhang, Z., Hui-Jin, Liang, H., ... et al. (2023). [Performance enhancement of white rot fungi extracellular enzymes via new hydrogel microenvironments for remediation of benzo\[a\]pyrene contaminated soil](#). *Journal of Hazardous Materials*, 454, 131505 .
8. Li, S., Liu, Q., Liu, J., Sun, K., Yang, W., Si, Y., Li, Y., ... et al. (2022). [Inhibition mechanisms of Fe²⁺/Fe³⁺ and Mn²⁺ on fungal laccase-enabled bisphenol A polyreaction](#). *Chemosphere*, 135685 .

Contatta Enzymes.bio

Hai domande su un ordine? Il nostro team è lieto di aiutarti.

EMAIL wholesale@enzymes.bio

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

[Contattaci →](#)



400+ Clienti B2B



60+ partner di ricerca universitari



54 serviti in tutto il mondo

© 2026 Enzymes.bio · Fornitura di enzimi industriali e per la lavorazione alimentare · Non destinato al consumo umano né alla vendita al dettaglio.