

Laccase enzyme cho oxy hóa phenolic trong đồ uống, giấy–bột giấy và xử lý nước thải

Nhóm Nghiên cứu Enzymes.bio · Wellington, New Zealand · June 20, 2026

Laccase là enzyme oxy hóa–khử thuộc họ *multicopper oxidase*, xúc tác quá trình lấy electron từ hợp chất phenolic, amine thơm hoặc cấu trúc liên quan lignin, đồng thời dùng oxy phân tử làm chất nhận electron cuối cùng và tạo nước. Nhờ cơ chế này, laccase được ứng dụng trong ổn định đồ uống, xử lý màu dệt nhuộm, giấy–bột giấy, xử lý nước thải, biến đổi lignin và tổng hợp xanh các hợp chất có hoạt tính sinh học ^[1].

Trong bối cảnh B2B, điểm quan trọng không phải là “laccase có làm được mọi phản ứng oxy hóa hay không”, mà là enzyme này phù hợp khi cơ chất có thể bị oxy hóa một electron, nên quy trình cho phép tiếp xúc với oxy và điều kiện vận hành không làm bất hoạt enzyme. Enzymes.bio cung cấp laccase trực tuyến theo đơn vị 1 kg; CoA và SDS được cung cấp kèm theo khi đặt hàng.

Laccase là gì? Ý nghĩa, cách gọi và bản chất enzyme

Về “laccase meaning”, laccase có thể hiểu là nhóm enzyme oxy hóa chứa đồng, phổ biến ở nấm, thực vật, vi khuẩn và một số sinh vật khác; trong đó **fungal laccase** từ nấm mục trắng được nghiên cứu nhiều vì liên quan trực tiếp đến biến đổi lignin trong gỗ và sinh khối lignocellulose ^[2]. Trong tiếng Anh, “laccase pronunciation” thường được đọc gần như “LAK-kays”; trong tiếng Việt, người dùng kỹ thuật thường gọi trực tiếp là “la-ca-zơ” hoặc “enzyme laccase” để tránh nhầm với các oxidase khác.

Một hiểu nhầm phổ biến là tìm “laccase formula” như thể enzyme có công thức hóa học đơn giản giống một phân tử nhỏ. Thực tế, laccase là protein có trình tự acid amin, cấu trúc bậc ba và các tâm đồng xúc tác; vì vậy không có một “công thức laccase” duy nhất áp dụng cho mọi nguồn enzyme, mà phải mô tả theo nguồn gốc, cấu trúc tâm hoạt động, điều kiện phản ứng và nhóm cơ chất mục tiêu ^[3].

Các truy vấn như “laccase sigma”, “laccase enzyme price”, “laccase price” hoặc “laccase enzyme ppt” thường xuất hiện khi người dùng đang so sánh tài liệu nghiên cứu, sản phẩm thương mại và slide đào tạo nội bộ. Tuy nhiên, với ứng dụng công nghiệp, việc hiểu cơ chế, nền ứng dụng, độ tương thích quy trình và rủi ro biến thiên theo cơ chất quan trọng hơn việc chỉ nhìn vào tên thương mại hoặc giá niêm yết ^[1].

Cơ chế laccase: enzyme chuyển electron dùng oxy làm chất nhận cuối

Cốt lõi của **laccase mechanism** là phản ứng oxy hóa một electron. Cơ chất bị oxy hóa tại tâm đồng type 1, tạo gốc phenoxy hoặc dạng radical tương ứng; electron sau đó được chuyển qua mạng đồng nội phân tử đến cụm đồng trinuclear, nơi oxy phân tử được khử thành nước [4].

Ở cấp độ phản ứng, điều này giải thích vì sao laccase đặc biệt phù hợp với phenol, polyphenol, amin thơm và các phân tử có khả năng cho electron. Sau khi tạo radical, cơ chất không nhất thiết “biến mất” hoàn toàn; nó có thể dimer hóa, oligomer hóa, polymer hóa, đổi màu, giảm độ tan, tăng khả năng kết tụ hoặc chuyển thành sản phẩm oxy hóa có tính chất khác ban đầu [5].

Trong nhiều nền công nghiệp, phản ứng laccase có hai hệ quả kỹ thuật trái ngược cần phân biệt rõ. Một mặt, polymer hóa polyphenol có thể giúp giảm hợp chất gây đục hoặc hỗ trợ loại bỏ qua lọc; mặt khác, cùng phản ứng này có thể gây sẫm màu hoặc thay đổi cảm quan nếu kiểm soát kém, đặc biệt trong thực phẩm và đồ uống giàu phenolic [6].

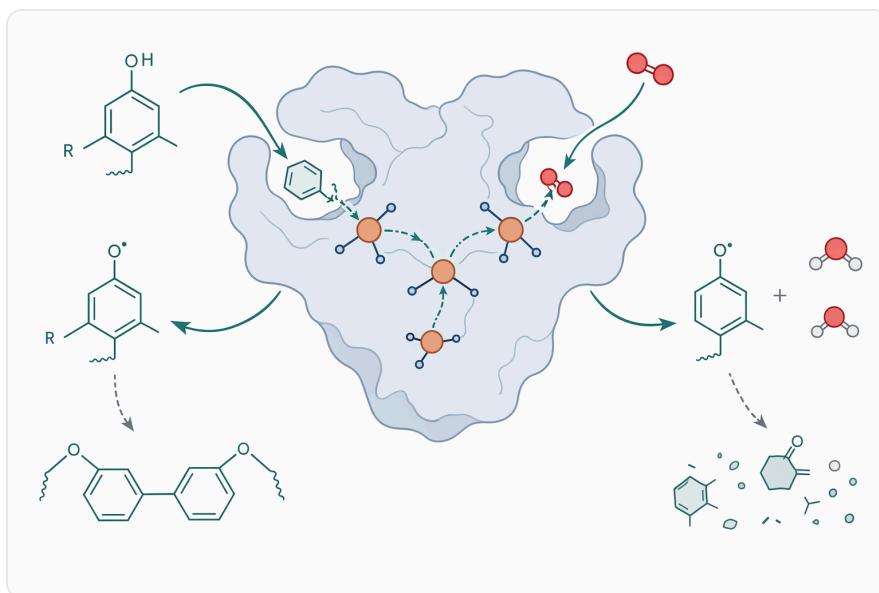


Figure 1. 라카아제는 페놀성 기질을 1전자 산화시키는 동시에 산소를 물로 환원합니다.

Laccase không phải chất oxy hóa “vạn năng”. Với cơ chất có thể oxy hóa cao hoặc khó tiếp cận trung tâm hoạt động, hệ **laccase-mediator** có thể được nghiên cứu để mở rộng phạm vi phản ứng: mediator bị laccase oxy hóa trước, sau đó chất trung gian oxy hóa cơ chất đích ở khoảng cách xa hơn hoặc với hàng rào năng lượng thấp hơn [7].

Cấu trúc laccase: vì sao tâm đồng quyết định hoạt tính

Laccase structure thường gồm các miền protein gấp cuộn quanh các ion đồng, với tâm đồng type 1 tạo màu xanh đặc trưng ở nhiều laccase và đảm nhiệm nhận electron từ cơ chất. Cụm đồng còn lại, thường được mô tả như trung tâm trinuclear, là nơi oxy được hoạt hóa và khử từng bước thành nước [3].

Sự khác nhau giữa các laccase không chỉ nằm ở “nguồn nấm hay nguồn vi khuẩn”, mà còn ở hình học kênh cơ chất, thế oxy hóa–khử của tâm đồng type 1, mức glycosyl hóa, độ bền pH–nhiệt và khả năng chịu chất ức chế. Nghiên cứu về cơ sở cấu trúc–hóa học của fungal laccase cho thấy hoạt tính phụ thuộc vào tương tác giữa cấu trúc protein, môi trường quanh ion đồng và khả năng cơ chất tiếp cận vùng xúc tác [3].

Ở vi khuẩn, các multicopper oxidase như CueO thường được xem là laccase-like enzyme; nghiên cứu đột biến cấu trúc trên CueO cho thấy thay đổi cục bộ trong protein có thể làm tăng hoạt tính kiểu laccase bằng cách cải thiện khả năng tiếp cận cơ chất hoặc thay đổi môi trường quanh tâm hoạt động [8]. Vì vậy, cụm từ **laccase producing bacteria** không chỉ nói về khả năng sinh enzyme, mà còn mở ra hướng tìm enzyme bền hơn trong điều kiện công nghiệp khắc nghiệt.

Nguồn laccase: nấm, vi khuẩn, thực vật và hệ enzyme tự nhiên

Trong tự nhiên, laccase được biết nhiều nhất ở nấm mục trắng vì nhóm nấm này có khả năng phân giải thành phần lignin trong gỗ. Tuy nhiên, mô hình phân hủy gỗ không phụ thuộc vào laccase đơn lẻ; nó thường liên quan đến mạng enzyme oxy hóa, peroxidase, oxidoreductase và chất chuyển hóa nhỏ hoạt động phối hợp trong vi môi trường của sợi nấm [2].

Các nghiên cứu về fungal laccase cũng cho thấy quá trình biểu hiện enzyme có thể chịu ảnh hưởng của dinh dưỡng, kim loại, stress oxy hóa và chuyển hóa nội bào. Ví dụ, phân tích transcriptome và metabolome trên *Cerrena unicolor* cho thấy chuyển hóa glutathione có thể ảnh hưởng tiêu cực đến hoạt tính laccase, nhấn mạnh rằng sản lượng hoặc hoạt tính quan sát được không chỉ phụ thuộc vào gen laccase mà còn vào trạng thái sinh lý của vi sinh vật [9].

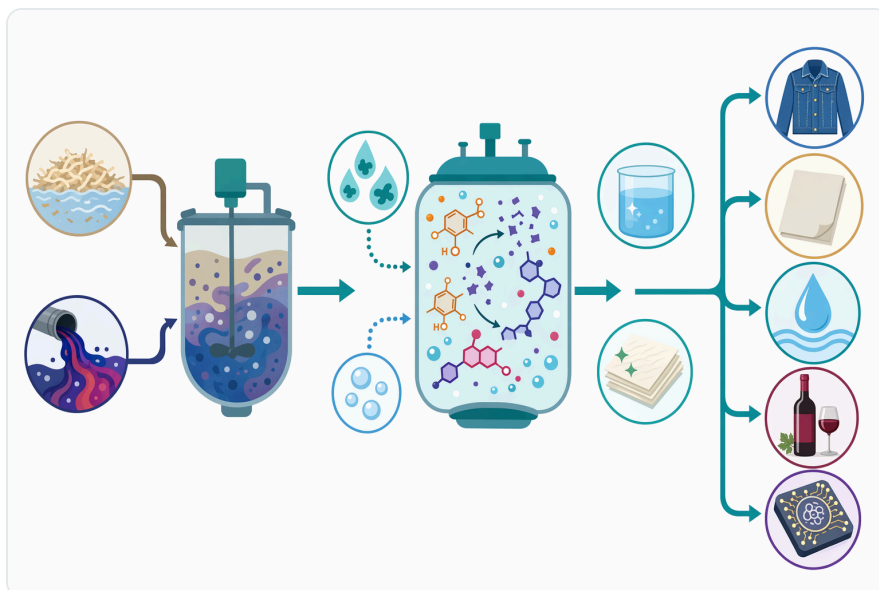


Figure 2. 산업용 라카아제 공정은 산소 구동 산화를 이용해 리그닌, 염료, 페놀류 및 기타 방향족 화합물을 변형합니다.

Một số nghiên cứu khai thác phụ phẩm nông nghiệp để tạo môi trường cho sinh laccase, chẳng hạn biovalorization bã malt sau sản xuất bia nhằm thu laccase và polyphenol. Cách tiếp cận này cho thấy mối liên hệ giữa kinh tế tuần hoàn và enzyme công nghiệp, nhưng không đồng nghĩa mọi phụ phẩm đều cho hiệu suất hoặc chất lượng enzyme giống nhau [10].

Ngoài nấm, laccase hoặc enzyme kiểu laccase ở vi khuẩn được quan tâm vì tiềm năng chịu pH, nhiệt, muối hoặc điều kiện bất lợi tốt hơn trong một số trường hợp. Dù vậy, lựa chọn enzyme cho ứng dụng không nên dựa duy nhất vào tên nguồn sinh học; cần hiểu enzyme đó tương tác thế nào với cơ chất đích, nền quy trình và yêu cầu sản phẩm cuối [8].

Bảng so sánh nhanh các nhóm ứng dụng laccase

Nhóm ứng dụng	Cơ chất hoặc vấn đề mục tiêu	Vai trò kỹ thuật của laccase	Điểm cần kiểm soát
Đồ uống, nước ép, rượu vang, bia	Polyphenol, hợp chất gây đục, biến đổi màu	Oxy hóa phenolic, hỗ trợ kết tụ hoặc ổn định một số nền đồ uống	Nguy cơ đổi màu, ảnh hưởng cảm quan, tương tác với sulfur dioxide trong rượu vang
Baking và thực phẩm	Phenolic trong bột, thành phần tạo mạng	Tạo liên kết oxy hóa, hỗ trợ cấu trúc tùy công thức	Phụ thuộc nguyên liệu, độ ẩm, thời gian trộn và quy trình gia nhiệt

Nhóm ứng dụng	Cơ chất hoặc vấn đề mục tiêu	Vai trò kỹ thuật của laccase	Điểm cần kiểm soát
Giấy–bột giấy	Lignin, chromophore, hợp chất thơm	Hỗ trợ biobleaching, biến đổi lignin, giảm phụ thuộc hóa chất mạnh trong một số chiến lược	Lignin khó tiếp cận, có thể cần mediator hoặc tiền xử lý
Dệt nhuộm	Thuốc nhuộm azo, triphenylmethane, xanthene và chất màu thơm	Khử màu hoặc biến đổi cấu trúc màu	Nền nước thải chứa muối, chất hoạt động bề mặt, kim loại và nhiều chất ức chế
Xử lý nước thải	Phenol, dược phẩm, chất ô nhiễm mới nổi	Oxy hóa sinh học, polymer hóa hoặc chuyển hóa chất ô nhiễm	Cần đánh giá sản phẩm chuyển hóa và độc tính sau xử lý
Tổng hợp xanh	Indole, flavonoid, hợp chất phenolic sinh học	Dimer hóa, trimer hóa, derivatization chọn lọc	Kiểm soát chọn lọc sản phẩm và phản ứng phụ

Bảng trên cho thấy **laccase application** rất rộng, nhưng cơ chế chung không đảm bảo kết quả giống nhau giữa các ngành. Mỗi nền ứng dụng thay đổi thế oxy hóa, khả năng hòa tan cơ chất, oxy hòa tan, pH, nhiệt độ, tạp chất và số phận sản phẩm oxy hóa [1].

Ứng dụng trong đồ uống, rượu vang và bia

Trong đồ uống, laccase được quan tâm vì polyphenol vừa là thành phần tạo màu, hương vị và cảm giác miệng, vừa có thể tham gia phản ứng oxy hóa gây đục, sẫm màu hoặc thay đổi ổn định keo. Với **laccase wine**, cần đặc biệt thận trọng vì rượu vang là nền phức tạp chứa polyphenol, ethanol, acid hữu cơ, sulfur dioxide và các hợp chất hương dễ bị ảnh hưởng bởi trạng thái oxy hóa [6].

Cơ chế thực tế trong nước ép, bia hoặc rượu vang thường liên quan đến oxy hóa phenolic thành quinone hoặc radical, sau đó các sản phẩm này tiếp tục kết hợp với nhau hoặc với thành phần khác trong nền. Nếu được kiểm soát đúng, quá trình này có thể hỗ trợ giảm một phần hợp chất gây haze; nếu kiểm soát kém, nó có thể làm thay đổi màu hoặc đặc tính cảm quan [6].

Trong ngành bia, mối liên hệ giữa bã malt, polyphenol và laccase cũng được nghiên cứu ở góc độ khai thác phụ phẩm. Bã malt sau nấu bia có thể được dùng trong chiến lược sinh học để tạo giá trị, bao gồm thu polyphenol và sản xuất laccase trong một số hệ vi sinh, cho thấy enzyme này nằm ở giao điểm giữa đồ uống và bioprocessing tuần hoàn [10].

Ứng dụng trong baking và thực phẩm

Trong hệ bột, laccase có thể oxy hóa các hợp chất phenolic tự nhiên hoặc thành phần bổ sung, tạo điều kiện hình thành liên kết chéo giữa các cấu tử có khả năng phản ứng. Về mặt công nghệ, điều này có thể ảnh hưởng đến độ đàn hồi bột nhào, cấu trúc sản phẩm hoặc khả năng giữ khí, nhưng hiệu quả phụ thuộc rất mạnh vào loại bột, công thức, nước, chất béo, muối và quy trình trộn [1].

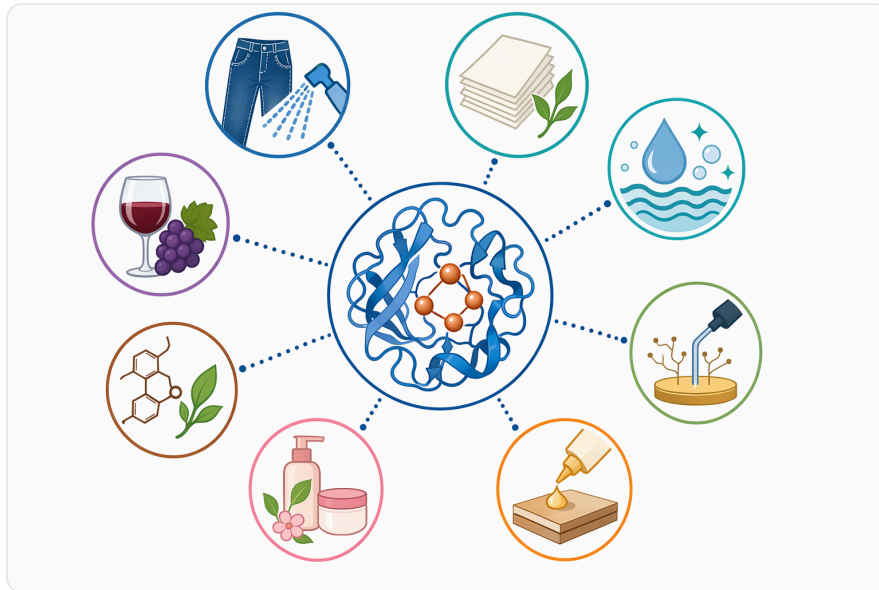


Figure 3. 라카아제는 섬유, 펄프 및 제지, 환경 처리, 식음료 가공, 바이오 기반 소재 등 다양한 분야에서 사용됩니다.

Cần phân biệt laccase với các enzyme thường dùng trong bakery như amylase, xylanase hoặc glucose oxidase. Laccase không chủ yếu cắt polysaccharide hay tạo đường lên men; vai trò chính của nó là điều chỉnh trạng thái oxy hóa của các hợp chất có thể cho electron, từ đó gián tiếp tác động đến mạng cấu trúc thực phẩm [7].

Trong thực phẩm giàu polyphenol, laccase có thể vừa là công cụ ổn định vừa là yếu tố gây biến đổi ngoài ý muốn. Do đó, cách tiếp cận phù hợp là xem enzyme như một tác nhân oxy hóa sinh học có chọn lọc tương đối, chứ không phải phụ gia “cải thiện chất lượng” theo nghĩa chung cho mọi công thức [1].

Ứng dụng trong giấy–bột giấy và sinh khối lignocellulose

Laccase có liên hệ trực tiếp với lignin, polymer thơm phức tạp tạo độ cứng cho thành tế bào thực vật. Trong giấy–bột giấy, enzyme được nghiên cứu nhằm hỗ trợ biobleaching, giảm màu, biến đổi lignin hoặc tăng hiệu quả của các bước xử lý tiếp theo, đặc biệt khi kết hợp với chiến lược tiền xử lý phù hợp [11].

Cơ chế trên lignin phức tạp hơn nhiều so với phenol đơn giản. Laccase có thể oxy hóa các đơn vị phenolic trong lignin, tạo radical dẫn đến cắt mạch, tái kết hợp hoặc polymer hóa tùy điều kiện; với đơn vị không phenolic, mediator thường được nghiên cứu để mở rộng phạm vi tác động [12].

Các mô phỏng docking và động lực học phân tử về laccase gắn với lignin cho thấy tương tác enzyme–lignin phụ thuộc vào vùng gắn cơ chất, trạng thái bề mặt protein và khả năng tiếp cận của đơn vị thơm trong polymer [12]. Điều này giải thích vì sao cùng một enzyme có thể hoạt động tốt với mô hình cơ chất nhỏ nhưng cho hiệu quả khác khi gặp lignin thực trong sinh khối.

Trong xử lý gỗ tự nhiên, nấm mục trắng không chỉ tiết laccase mà còn vận hành một hệ enzyme oxy hóa rộng. Các mô hình phân hủy gỗ cho thấy mức độ và kiểu biến đổi thành tế bào phụ thuộc vào bộ enzyme của từng loài nấm, làm rõ lý do khó quy toàn bộ quá trình delignification về một enzyme duy nhất [2].

Ứng dụng trong dệt nhuộm và khử màu

Trong dệt nhuộm, laccase được nghiên cứu cho khử màu thuốc nhuộm vì nhiều thuốc nhuộm chứa cấu trúc thơm có thể bị oxy hóa. Nghiên cứu trên laccase từ *Alternaria tenuissima* nguồn gốc biển cho thấy enzyme có thể được cảm ứng và ứng dụng trong khử màu thuốc nhuộm azo và triphenylmethane, hai nhóm màu quan trọng trong nước thải công nghiệp [13].



Figure 4. 강한 화학적 산화와 비교할 때, 라카아제 처리는 방향족 기질을 선택적으로 산화하면서 화학물질 사용량을 줄일 수 있습니다.

Tuy vậy, “khử màu” không đồng nghĩa chắc chắn với “khoáng hóa hoàn toàn”. Khi laccase phá vỡ hoặc biến đổi chromophore, tín hiệu màu có thể giảm, nhưng sản phẩm trung gian vẫn cần được xem xét về độc tính, khả năng phân hủy tiếp và tương tác với hệ xử lý sinh học sau đó [11].

Một hướng đang được quan tâm là dùng laccase cố định để tăng khả năng tái sử dụng và cải thiện độ bền trong nước thải giấy hoặc dệt nhuộm. Các nghiên cứu về biocatalyst tự do và cố định trong xử lý dòng thải giấy nhấn mạnh tiềm năng của enzyme, đồng thời chỉ ra rằng hiệu quả phụ thuộc vào chất mang, nền nước thải và điều kiện vận hành [11].

Trong một số hệ vi sinh, enzyme oxy hóa khác như catalase, oxidoreductase hoặc cơ chế tạo reactive oxygen species có thể phối hợp với laccase để phân hủy chất màu. Nghiên cứu về phân hủy Rose Bengal trong *Aspergillus flavus* cho thấy quá trình oxy hóa sinh học có thể là mạng phản ứng đa enzyme thay vì tác động đơn lẻ của một laccase [14].

Xử lý nước thải, phenol và chất ô nhiễm mới nổi

Laccase được xem là biocatalyst tiềm năng cho nước thải chứa phenol, hợp chất thơm, thuốc nhuộm, dược phẩm và chất ô nhiễm mới nổi. Lợi thế chính là phản ứng dùng oxy, diễn ra trong điều kiện tương đối ôn hòa và có thể dẫn đến polymer hóa hoặc chuyển hóa chất ô nhiễm thành dạng dễ loại bỏ hơn [1].

Với các phân tử gây rối loạn nội tiết hoặc chất ô nhiễm hữu cơ khó phân hủy, tương tác giữa laccase và cơ chất có thể liên quan đến thay đổi cấu trúc phân tử, biến đổi phổ hấp thụ hoặc sản phẩm oxy hóa. Nghiên cứu về tương tác giữa laccase và diethylstilbestrol cho thấy cần phân tích cụ thể tương tác enzyme–chất ô nhiễm thay vì giả định mọi hợp chất thơm đều bị xử lý hiệu quả như nhau [15].

Trong xử lý than non hoặc vật liệu carbon hóa tự nhiên, laccase cũng xuất hiện trong các hệ nấm có khả năng oxy hóa đại phân tử thơm. Nghiên cứu về *Trichoderma citrinoviride* trong phân hủy lignite cho thấy enzyme oxy hóa có thể góp phần biến đổi vật liệu carbon phức tạp, nhưng cơ chế thực tế thường liên quan đến nhiều enzyme và chất chuyển hóa [16].

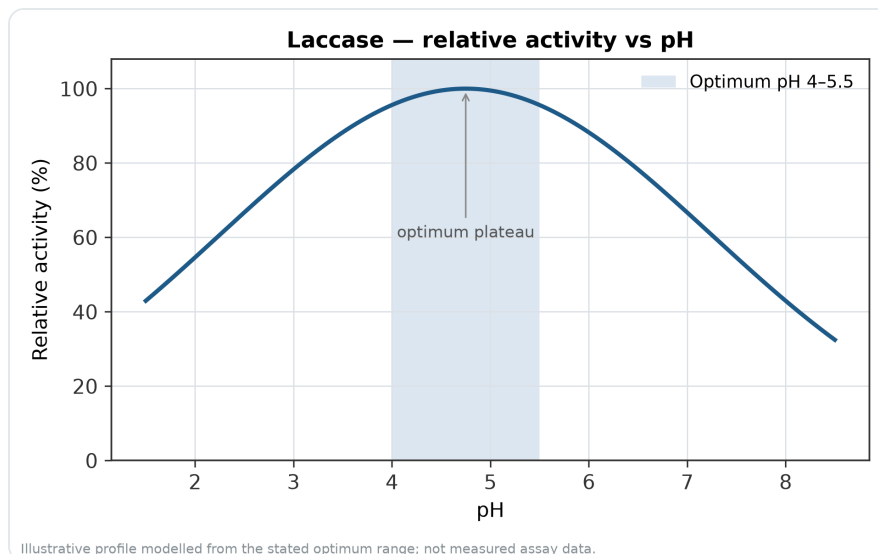


Figure 5. pH에 따른 라카아제의 상대 활성으로, pH 4-5.5에서 최적 활성 구간이 나타납니다.

Đối với triển khai thực tế, điểm giới hạn thường nằm ở nền nước thải: pH dao động, muối cao, chất hoạt động bề mặt, kim loại, chất diệt khuẩn hoặc tải hữu cơ có thể làm giảm hoạt tính hoặc thay đổi hướng phản ứng. Vì vậy, laccase nên được xem là một mắt xích trong hệ xử lý tổng hợp, không phải giải pháp đơn độc cho mọi dòng thải [11].

Laccase trong tổng hợp xanh và hợp chất có hoạt tính sinh học

Một lĩnh vực giàu tiềm năng của laccase là tổng hợp xanh, nơi enzyme tạo radical có kiểm soát để dimer hóa, trimer hóa hoặc biến đổi cấu trúc phenolic. Ví dụ, laccase đã được nghiên cứu cho trimer hóa indole, cho thấy enzyme có thể tạo liên kết C-C hoặc C-N thông qua cơ chế radical trong điều kiện mềm hơn nhiều so với một số quy trình hóa học truyền thống [5].

Với flavonoid và hợp chất tự nhiên, laccase có thể hỗ trợ tạo dimer hoặc dẫn xuất có hoạt tính sinh học khác biệt. Nghiên cứu dimer hóa silybin qua xúc tác laccase minh họa cách enzyme oxy hóa phenolic có thể tạo sản phẩm mới từ khung phân tử tự nhiên, mặc dù chọn lọc sản phẩm vẫn là thách thức kỹ thuật quan trọng [17].

Các tổng quan về laccase trong tổng hợp hữu cơ nhấn mạnh vai trò của enzyme trong tạo hợp chất chống oxy hóa, bioactive và dẫn xuất có giá trị. Tuy nhiên, với tổng hợp hóa chất, vấn đề không chỉ là chuyển hóa được cơ chất, mà còn là kiểm soát regioselectivity, stereoselectivity, hiệu suất sản phẩm và tách tinh chế sau phản ứng [18].

Laccase cũng được nghiên cứu cho tổng hợp hoặc derivatization hợp chất kháng khuẩn. Tổng quan về tiềm năng laccase trong tạo hợp chất antimicrobial cho thấy enzyme có thể hỗ trợ tạo thư viện dẫn xuất mới, nhưng khả năng kháng khuẩn cần được đánh giá độc lập thay vì suy ra trực tiếp từ việc phản ứng laccase xảy ra [19].

Biosensor, nanozyme và các hướng công nghệ mới

Do laccase oxy hóa được phenolic compounds và một số phân tử sinh học, enzyme này được dùng trong thiết kế biosensor điện hóa hoặc quang học. Nghiên cứu so sánh điện cực enzyme dựa trên laccase để phát hiện L-DOPA cho thấy lựa chọn vật liệu điện cực, cấu hình enzyme và truyền electron ảnh hưởng đáng kể đến tín hiệu cảm biến [20].

Ngoài enzyme tự nhiên, lĩnh vực nanozyme mô phỏng laccase đang phát triển trong cảm biến màu. Tổng quan về laccase nanozymes cho thấy vật liệu nano có hoạt tính kiểu laccase có thể hỗ trợ phát hiện màu đối với một số chất phân tích, nhưng chúng không giống hoàn toàn enzyme protein về chọn lọc, cơ chế và tính tương thích sinh học [21].

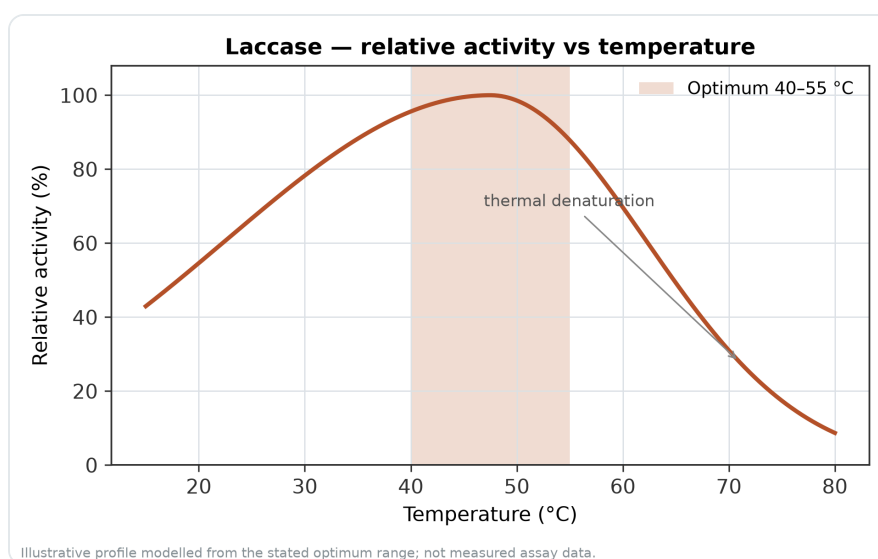


Figure 6. 온도에 따른 라카아제의 상대 활성으로, 40-55°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열 변성에 따른 전형적인 활성 감소가 나타납니다.

Trong truyền thông nội bộ hoặc đào tạo kỹ thuật, nhiều nhóm tìm “laccase enzyme ppt” để tóm tắt ứng dụng. Khi chuyển từ slide sang quyết định quy trình, cần tránh rút gọn quá mức: cùng một sơ đồ cơ chế có thể dẫn đến kết quả rất khác nhau trong rượu vang, nước thải nhuộm, bột giấy hoặc phản ứng tổng hợp hữu cơ [1].

Các biến số quy trình ảnh hưởng đến hiệu quả laccase

Hiệu quả của laccase phụ thuộc đầu tiên vào pH, vì pH ảnh hưởng đồng thời đến trạng thái ion hóa của cơ chất phenolic, cấu trúc protein và quá trình khử oxy tại tâm đồng. Một enzyme có thể cho kết quả tốt ở nền này nhưng giảm mạnh ở nền khác nếu pH làm thay đổi khả năng tạo radical hoặc làm giảm ổn định cấu trúc [3].

Nhiệt độ là biến số thứ hai: tăng nhiệt thường làm tăng tốc độ phản ứng đến một giới hạn nhất định, nhưng cũng có thể đẩy nhanh bất hoạt protein. Với quy trình thực phẩm hoặc nước thải, cần cân bằng giữa tốc độ oxy hóa mong muốn, độ bền enzyme và ảnh hưởng đến thành phần nền sản phẩm [1].

Oxy hòa tan cũng rất quan trọng vì laccase dùng oxy làm chất nhận electron cuối cùng. Trong nền nhớt, giàu chất hữu cơ hoặc có trao đổi khí kém, tốc độ phản ứng có thể bị giới hạn không chỉ bởi enzyme mà còn bởi khả năng cung cấp oxy đến vùng phản ứng [4].

Mediator là biến số có tính hai mặt. Chúng có thể mở rộng phạm vi cơ chất, đặc biệt với lignin không phenolic hoặc chất ô nhiễm khó oxy hóa; nhưng mediator cũng có thể tạo sản phẩm phụ, tăng chi phí quy trình hoặc đặt ra yêu cầu đánh giá an toàn trong thực phẩm và môi trường [7].

Laccase tự do, laccase cố định và hệ enzyme phối hợp

Laccase tự do thường dễ phân tán trong nền nước và phù hợp cho các quá trình một lần hoặc nền phản ứng tương đối đồng nhất. Ngược lại, laccase cố định trên chất mang được nghiên cứu nhằm tăng tái sử dụng, cải thiện ổn định và hỗ trợ vận hành liên tục, đặc biệt trong xử lý nước thải hoặc dòng thải giấy [11].

Tuy nhiên, cố định enzyme không tự động làm mọi thứ tốt hơn. Chất mang có thể hạn chế khuếch tán cơ chất, thay đổi vi môi trường pH, làm giảm khả năng tiếp cận tâm hoạt động hoặc gây mất hoạt tính trong quá trình gắn enzyme; vì vậy lợi ích thực tế phụ thuộc vào thiết kế hệ cố định và loại cơ chất [11].

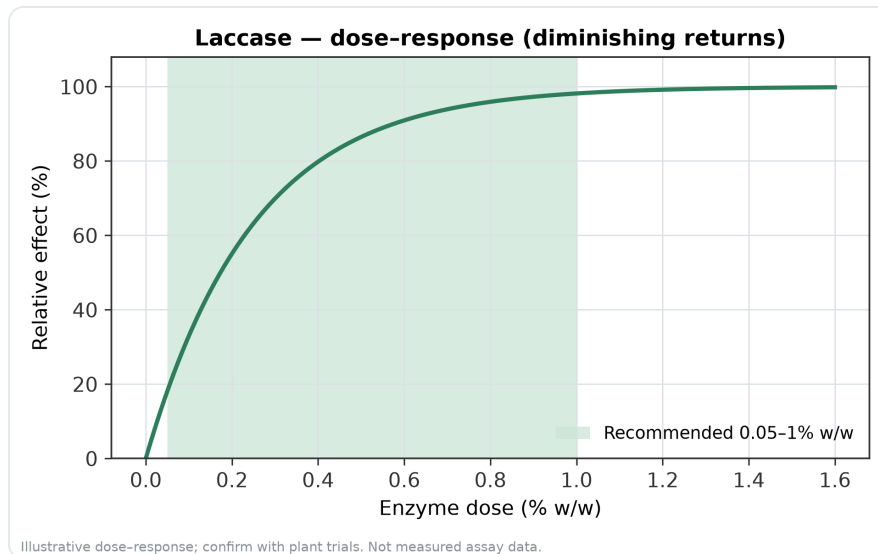


Figure 7. 권장 사용 범위(0.05–1% w/w)에서 라카아제의 예시적 용량-반응 관계입니다.

Trong tự nhiên, laccase hiếm khi hoạt động tách biệt. Nghiên cứu nuôi cấy hỗn hợp hai loài nấm cho thấy tương tác vi sinh có thể cải thiện hoạt tính laccase quan sát được, gợi ý rằng tín hiệu sinh học, cạnh tranh dinh dưỡng hoặc stress có thể điều chỉnh biểu hiện enzyme [22].

Từ góc nhìn công nghiệp, điều này khuyến nghị cách hiểu thận trọng: laccase thương mại là một công cụ xúc tác cụ thể, còn các hệ nấm tự nhiên là mạng sinh hóa phức hợp. Không nên suy trực tiếp hiệu quả phân hủy gỗ hoặc chất ô nhiễm của cả hệ nấm thành hiệu quả của một chế phẩm laccase đơn lẻ [2].

Lợi ích kỹ thuật và giới hạn cần nhìn nhận cân bằng

Lợi ích rõ nhất của laccase là dùng oxy thay cho các chất oxy hóa mạnh trong nhiều phản ứng. Điều này phù hợp với định hướng hóa học xanh, giảm phụ thuộc vào tác nhân oxy hóa tạo phụ phẩm khó kiểm soát và hỗ trợ quy trình ở điều kiện tương đối ôn hòa [7].

Lợi ích thứ hai là phổ cơ chất rộng. Laccase có thể tác động lên phenol, polyphenol, amin thơm, indole, flavonoid, thuốc nhuộm và cấu trúc liên quan lignin; chính phổ phản ứng này giúp enzyme xuất hiện trong đồ uống, giấy-bột giấy, xử lý nước thải, tổng hợp hữu cơ và biosensor [1].

Giới hạn chính là tính không đồng nhất của kết quả. Một cơ chất có thể bị oxy hóa nhanh trong dung dịch mô hình nhưng phản ứng chậm trong nền thực do bị che chắn, liên kết với polymer, thiếu oxy, có chất ức chế hoặc tạo sản phẩm radical quay lại bất hoạt enzyme [3].

Giới hạn khác là sản phẩm oxy hóa không phải lúc nào cũng mong muốn. Trong xử lý nước thải, giảm màu không đồng nghĩa với giảm độc tính; trong thực phẩm, giảm phenolic gây đục có thể đi kèm thay đổi màu hoặc hương; trong tổng hợp hữu cơ, tạo radical có thể dẫn đến hỗn hợp sản phẩm cần kiểm soát [15].

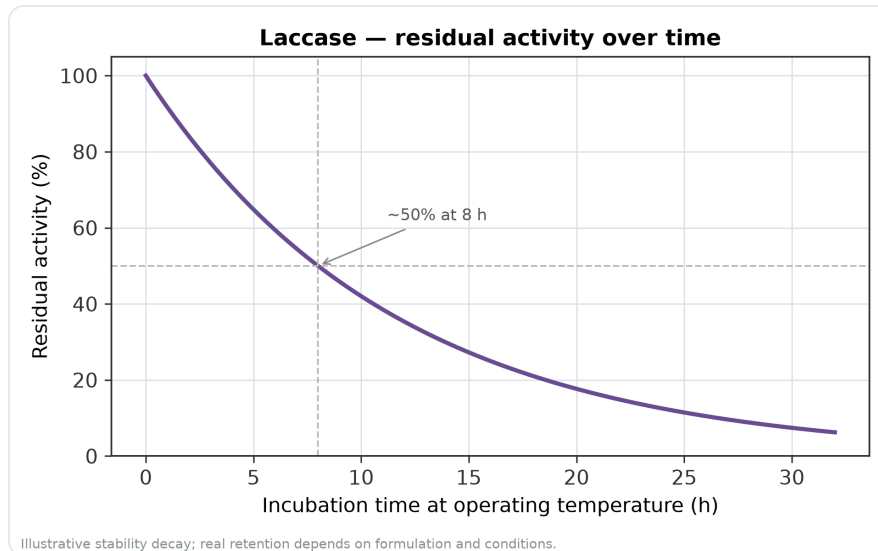


Figure 8. 라카아제의 예시적 열 안정성 감소로, 작동 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소합니다.

Ghi chú về sản phẩm Laccase từ Enzymes.bio

Enzymes.bio cung cấp laccase dưới vai trò **nhà cung cấp thương mại**, không phải nhà sản xuất enzyme và không phải phòng thí nghiệm phát triển chủng. Sản phẩm được bán trực tiếp online theo đơn vị 1 kg; khách hàng đặt hàng qua website, và CoA cùng SDS được cung cấp kèm theo khi đặt hàng .

Nội dung sản phẩm laccase của Enzymes.bio định vị enzyme cho các ứng dụng như đồ uống, brewing, baking và xử lý sinh học, với trọng tâm là khả năng oxy hóa hợp chất phenolic và hỗ trợ ổn định một số quy trình . Tài liệu này không thay thế đánh giá ứng dụng nội bộ của từng cơ sở, vì hiệu quả thực tế phụ thuộc vào nền nguyên liệu, mục tiêu kỹ thuật và điều kiện vận hành.

Khi người dùng so sánh “laccase enzyme price” hoặc “laccase price”, cần hiểu rằng giá chỉ là một phần của quyết định kỹ thuật. Đối với enzyme oxy hóa như laccase, chi phí quy trình còn chịu ảnh hưởng bởi liều sử dụng thực tế, thời gian tiếp xúc, khả năng tương thích nền, nhu cầu mediator, bước lọc sau phản ứng và giá trị kỹ thuật của kết quả đạt được [1].

Kết luận

Laccase là enzyme oxy hóa chứa đồng có cơ chế rõ ràng: lấy electron từ cơ chất phù hợp và chuyển electron đó đến oxy để tạo nước. Cơ chế này giải thích vì sao enzyme được dùng rộng rãi trong oxy hóa phenolic, xử lý polyphenol đồ uống, biến đổi lignin, khử màu thuốc nhuộm, xử lý nước thải, biosensor và tổng hợp xanh [1].

Điểm mạnh của laccase là phản ứng tương đối “xanh”, phổ cơ chất rộng và khả năng tạo biến đổi hóa học mà không cần tác nhân oxy hóa mạnh. Điểm cần kiểm soát là pH, nhiệt độ, oxy, mediator, chất ức chế, cấu trúc cơ chất và sản phẩm oxy hóa sau phản ứng [3].

Với ứng dụng B2B, laccase nên được nhìn như một công cụ xúc tác oxy hóa có điều kiện, không phải giải pháp chung cho mọi vấn đề màu, đục, lignin hoặc ô nhiễm hữu cơ. Khi hiểu đúng cơ chế và giới hạn, enzyme này có thể đóng vai trò hữu ích trong các quy trình đồ uống, thực phẩm, giấy-bột giấy, dệt nhuộm, xử lý nước thải và hóa học xanh.

Đặt mua Laccase trực tuyến

Bán theo đơn vị 1 kg, có sẵn trong kho và sẵn sàng giao hàng. Đặt mua trực tiếp trên cửa hàng của chúng tôi — thanh toán trực tuyến và chúng tôi sẽ xử lý đơn hàng. Mỗi đơn hàng đều kèm Chứng nhận Phân tích và Bảng Dữ liệu An toàn.

[Mua Laccase →](#)

Tài liệu tham khảo

Được đánh số theo thứ tự trích dẫn đầu tiên. Các nguồn truy cập mở, đều được xác minh có thể truy cập tại thời điểm xuất bản; số trích dẫn trong bài liên kết đến đây.

1. Ayodeji, F. D., Shava, B., Iqbal, H. M., Ashraf, S., Cui, J., Franco, M., & Bilal, M. (2022). Biocatalytic Versatilities and Biotechnological Prospects of Laccase for a Sustainable Industry. *Catalysis Letters*, 153, 1932-1956.
2. Ruel, K., Ambert, K., & Joseleau, J. (1994). Influence of the enzyme equipment of white-rot fungi on the patterns of wood degradation. *Fems Microbiology Reviews*, 13, 241-254.
3. Mehra, R., Muschiol, J., Meyer, A., & Kepp, K. P. (2018). A structural-chemical explanation of fungal laccase activity. *Scientific Reports*, 8.
4. Zoppellaro, G., Sakurai, T., & Huang, H. (2001). A novel mixed valence form of Rhus vernicifera laccase and its reaction with dioxygen to give a peroxide intermediate bound to the trinuclear center. *Journal of Biochemistry (Tokyo)*, 129 6, 949-53 .

5. Ganachaud, C., Garfagnoli, V., Tron, T., & Iacazio, G. (2008). Trimerisation of indole through laccase catalysis. *Tetrahedron Letters*, 49, 2476-2478.
6. García-Guzmán, J. J., Hernández-Artiga, M. P., León, L. P., & Bellido-Milla, D. (2015). Selective methods for polyphenols and sulphur dioxide determination in wines. *Food Chemistry*, 182, 47-54 .
7. Scheibel, D., Gitsov, I. P. I., & Gitsov, I. (2024). Enzymes in “Green” Synthetic Chemistry: Laccase and Lipase. *Molecules*, 29.
8. Wang, H., Liu, X., Zhao, J., Yue, Q., Yan, Y., Gao, Z., Dong, Y., ... et al. (2018). Crystal structures of multicopper oxidase CueO G304K mutant: structural basis of the increased laccase activity. *Scientific Reports*, 8.
9. Zhang, L., Qiu, T., Qiu, X., Yang, W., Ye, X., & Meng, C. (2024). Transcriptomic and metabolomic analysis unveils a negative effect of glutathione metabolism on laccase activity in *Cerrena unicolor* 87613. *Microbiology spectrum*, 12.
10. Tišma, M., Jurić, A., Bucić-Kojić, A., Panjičko, M., & Planinić, M. (2018). Biovalorization of brewers’ spent grain for the production of laccase and polyphenols. *Journal of The Institute of Brewing*, 124, 182-186.
11. Tite, T. E., Ngema, P., & Makhathini, T. P. (2024). Exploration of Free and Immobilized Biocatalysts for the Treatment of Paper Industry Effluents. *Separation & Purification Reviews*, 54, 258 - 275.
12. Fu, N., Li, J., Wang, M., Ren, L., & Luo, Y. (2020). Genes Identification, Molecular Docking and Dynamics Simulation Analysis of Laccases from *Amylostereum areolatum* Provides Molecular Basis of Laccase Bound to Lignin. *International Journal of Molecular Sciences*, 21.
13. Aty, A. A. E., Hamed, E., El-Beih, A., & El-diwany, A. (2016). Induction and enhancement of the novel marine-derived *Alternaria tenuissima* KM651985 laccase enzyme using response surface methodology: Application to Azo and Triphenylmethane dyes decolorization -. *journal of applied pharmaceutical science*, 6, 006-014.
14. Qin, W., Lin, Y., Xu, L., Li, Q., Tang, A., Li, Q., Liang, H., ... et al. (2025). NADH flavin oxidoreductase and catalase-induced reactive oxygen species and key enzymes synergistically drive oxidative degradation of xanthene dye Rose Bengal in *Aspergillus flavus* A5P1. *International Journal of Biological Macromolecules*, 144136 .
15. Lin, X., Liu, H., Tang, L., Shi, M., Xu, M., Huang, Y., Yi, Z., ... et al. (2022). Interaction between laccase and diethylstilbestrol based on multispectral and chromatography analyses. *Journal of Molecular Recognition*, 35.
16. Feng, X., Sun, J., & Xie, Y. (2021). Degradation of Shanxi lignite by *Trichoderma citrinoviride*. *Fuel*, 291, 120204.
17. Gažák, R., Sedmera, P., Marzorati, M., Riva, S., & Křen, V. (2008). Laccase-mediated dimerization of the flavonolignan silybin. *Journal of Molecular Catalysis B-enzymatic*, 50, 87-92.
18. Schwartz, C. G. K., Backes, E., Peralta, R. M., & Zanin, G. M. (2020). APLICAÇÃO DE LACASES EM SÍNTESE ORGÂNICA PARA OBTENÇÃO DE BIOATIVOS COM ATIVIDADE ANTIOXIDANTE: UMA REVISÃO. *Ciência, Tecnologia e Inovação: do campo à mesa*.
19. Hahn, V. (2023). Potential of the enzyme laccase for the synthesis and derivatization of antimicrobial compounds. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 39.
20. Shukri, M., & Dimcheva, N. (2024). Biosensing L-DOPA with laccase-based enzyme electrodes: a comparative study. *Bulgarian Chemical Communications*.
21. Mekonnen, M., Abda, E. M., Csáki, A., & Fritzsche, W. (2024). Frontiers in laccase nanozymes-enabled colorimetric sensing: A review. *Analytica Chimica Acta*, 1337, 343333 .

22. Yan, Z., Sun, X., Li, J., Liu, X., Yuan, Y., & Liao, Y. (2013). Interaction of a Mixed Culture of Two Fungi as a means of improving Laccase Activity.

Liên hệ Enzymes.bio

Có câu hỏi về đơn hàng? Đội ngũ của chúng tôi luôn sẵn sàng hỗ trợ.

EMAIL wholesale@enzymes.bio

ĐIỆN THOẠI (HOA KỲ) **+1 (507) 428-6057**

[Liên hệ với chúng tôi →](#)



400+ khách hàng B2B



60+ đối tác nghiên cứu đại học



54 phục vụ trên toàn cầu

© 2026 Enzymes.bio · Cung ứng enzyme công nghiệp & chế biến thực phẩm · Không dùng cho người tiêu thụ hoặc bán lẻ.