

Laccase Enzimi ile Fenolik Bileşik Oksidasyonu, Renk Giderimi ve Endüstriyel Proses Desteği

Enzymes.bio Araştırma Ekibi · Wellington, Yeni Zelanda · June 21, 2026

Laccase, oksijeni elektron alıcısı olarak kullanarak fenolik bileşikler, bazı aromatik aminler ve ligninle ilişkili yapılar üzerinde oksidatif dönüşüm sağlayabilen çok bakırlı bir biyokatalizördür. Bu mekanizma; tekstil boyar madde renk giderimi, kâğıt-hamur prosesleri, içeceklerde polifenol yönetimi, lignoselülozik biyokütle işleme ve çevresel kirletici dönüşümü gibi B2B uygulamalarda değerlendirilir ^[1]. Enzymes.bio, Laccase ürününü 1 kg birimler halinde çevrim içi doğrudan siparişe açık şekilde tedarik eder; CoA ve SDS siparişe birlikte sağlanır .

Laccase nedir ve neden endüstriyel olarak önemlidir?

Laccase, endüstriyel biyokatalizde oksidasyon gerektiren proseslerde kullanılan bir enzimdir. Temel işlevi, uygun elektron verici bileşikleri oksitlemek ve bu sırada moleküler oksijeni suya indirgemektir. Bu özellik, laccase'i kimyasal oksitleyicilerin bir kısmını azaltmak veya prosesleri daha düşük kimyasal yükü yürütmek isteyen uygulamalar için araştırılan "yeşil kimya" araçlarından biri haline getirir ^[1].

Laccase'in değerli olmasının nedeni, tek bir moleküle bağlı çalışmaması ve fenolik yapılardan lignin türevlerine kadar farklı aromatik bileşiklerle etkileşebilmesidir. Bu geniş uygulama penceresi, enzimin tekstil atık sularındaki boyar maddelerden kâğıt-hamur delignifikasyonuna, içeceklerde polifenol dengesinden fenolik kirleticilerin dönüştürülmesine kadar farklı proseslerde değerlendirilmesini açıklar ^[2].

Endüstriyel bağlamda laccase, çoğu zaman tek başına "tam çözüm" olarak değil, mevcut proses adımlarına eklenen oksidatif destek biyokatalizörü olarak düşünülmelidir. Çünkü performans; hedef bileşiğin kimyasal yapısına, pH ve sıcaklık gibi proses koşullarına, oksijen erişimine, inhibitörlere, matris yoğunluğuna ve reaksiyon süresine bağlıdır ^[3].

Laccase reaction: oksijenle çalışan somut mekanizma

Teknik literatürde “laccase reaction” olarak anılan reaksiyonun merkezinde tek elektronlu oksidasyon vardır. Enzim, hedef molekülden elektron alır; oluşan elektronlar enzimin bakır merkezleri üzerinden taşınır ve son aşamada çözülmüş oksijen indirgenerek suya dönüşür [3].

Bu süreçte fenolik bileşikler çoğu zaman fenoksi radikali benzeri ara türlere dönüşür. Bu ara türler daha sonra proses ortamına göre polimerleşebilir, çapraz bağlanabilir, çözünürlüğü değişen ürünler oluşturabilir veya başka oksidatif dönüşüm yollarına girebilir. Bu nedenle aynı temel mekanizma bir uygulamada renk giderimi, başka bir uygulamada jel veya ağ yapılı oluşumu, başka bir uygulamada ise lignin modifikasyonu olarak gözlenebilir [4].

Laccase’in doğrudan oksitleyebildiği bileşikler ile daha zor oksitlenen bileşikler aynı davranışı göstermez. Redoks potansiyeli önemlidir, ancak tek belirleyici değildir; enzimin protein yapısı, substratın aktif bölgeye erişimi, ortamın iyonik yapısı ve reaksiyon ürünlerinin enzime etkisi de performansı değiştirebilir [3].

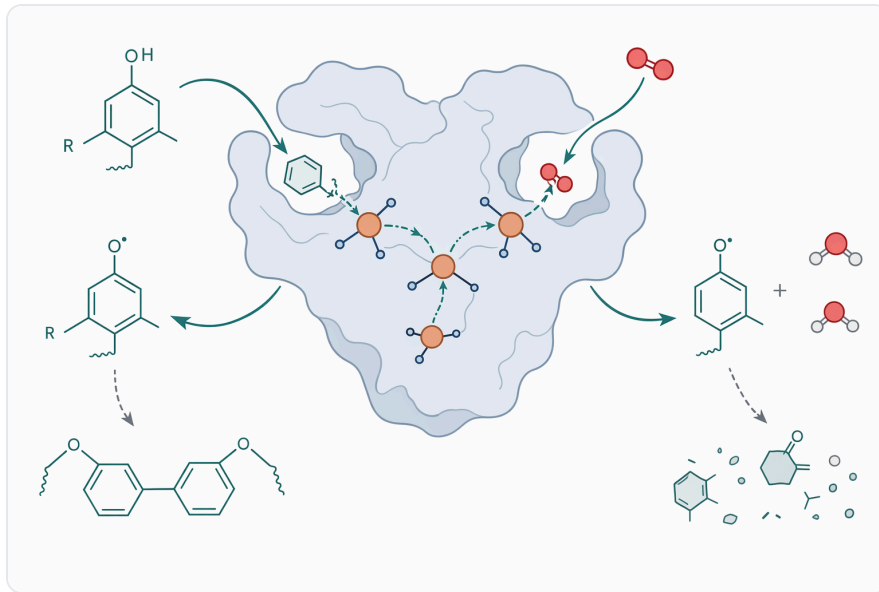


Figure 1. 라카아제는 산소를 물로 환원시키는 동시에 페놀성 기질의 1전자 산화를 촉매합니다.

Bu mekanizmanın pratik sonucu şudur: laccase kullanımında “enzim var mı?” sorusu tek başına yeterli değildir. Oksijenin ortama girişi, karıştırma, hedef bileşik konsantrasyonu, çözeltideki organik yük ve reaksiyon ürünlerinin birikimi de dikkate alınmalıdır; lignin bozunma ara ürünlerinin laccase üzerinde rekabetçi inhibisyon gösterebildiğine dair çalışma bu noktanın proses açısından önemli olduğunu gösterir [5].

Hangi endüstriyel sorunlarda kullanılır?

Laccase uygulamaları, oksidasyonun istenen etkiyi oluşturduğu sistemlerde anlam kazanır. En yaygın uygulama başlıkları; renkli atıkların giderimi, fenolik yükün azaltılması, ligninle ilişkili materyallerin modifikasyonu, içeceklerde polifenol yönetimi, oksidatif çapraz bağlanma ve bazı analitik/biyosensör sistemleridir [2].

Tekstil boyar madde renk giderimi ve atık su yönetimi

Tekstil sektörü laccase için en çok incelenen uygulama alanlarından biridir. Boyar maddelerin yapısı çeşitlidir; azo, antrakinon ve fenolik karakter taşıyan bazı boyalar laccase destekli oksidatif dönüşümlere yatkın olabilir. İmmobilize ligninolitik enzimler üzerine yapılan derlemeler, laccase'in boya bazlı endüstriyel kirleticilerle mücadelede çevresel açıdan duyarlı bir teknoloji adayı olduğunu vurgular [2].

Bu alanda önemli ayrım, saf boya çözeltisi ile gerçek tekstil atık suyu arasındadır. Gerçek atık sular tuz, yüzey aktif madde, yardımcı kimyasallar, farklı boya karışımları ve askıda katı içerebilir; bu bileşenler laccase reaction verimini değiştirebilir. Bu nedenle literatürdeki olumlu renk giderimi sonuçları, proses matrisine göre yorumlanmalıdır [6].

Laccase'in avantajı, bazı koşullarda renkli aromatik yapıların oksidatif dönüşümünü nispeten yumuşak proseslerle sağlayabilmesidir. Ancak enzimin hedef boyaya erişimi, pH uyumu ve oluşan ürünlerin toksikolojik profili uygulama kararında önemlidir; bu nedenle "renk azalması" her zaman "tam mineralizasyon" anlamına gelmez [2].

Kâğıt-hamur, biyobeyazlatma ve lignin modifikasyonu

Laccase, ligninle ilişkili yapıları oksitleyebildiği için kâğıt-hamur proseslerinde uzun süredir araştırılır. Yumuşak odun kraft hamurunun biyolojik ağartılmasında laccase'in xylanase ve mannanase ile birlikte kullanıldığı çalışmalar, enzimlerin kombinasyon halinde sinerjik etki oluşturabileceğini göstermektedir [7].

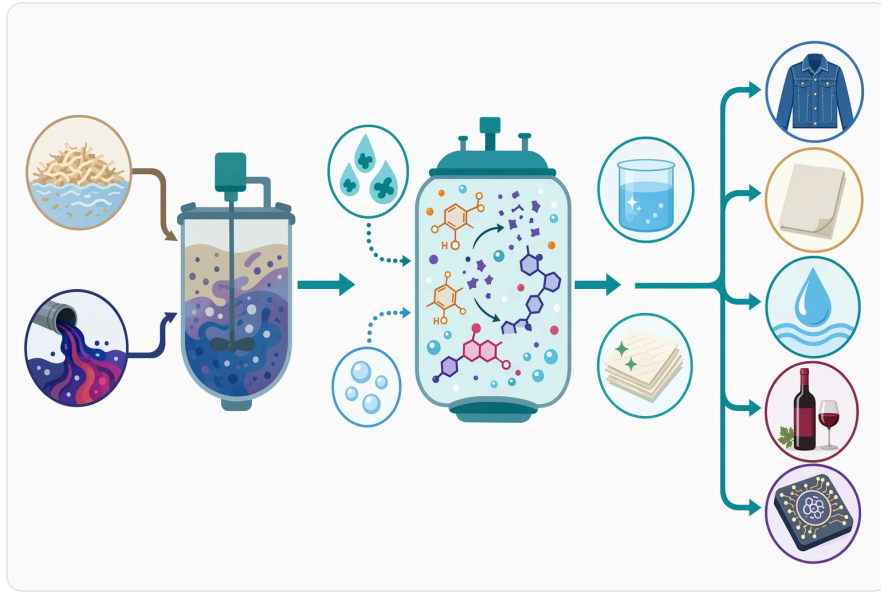


Figure 2. 산업용 라카아제 공정은 산소 기반 산화를 이용해 리그닌, 염료, 페놀류 및 기타 방향족 화합물을 변형합니다.

Bu alanda amaç çoğu zaman lignini tamamen parçalamak değil, ligninin oksidatif olarak modifiye edilmesiyle sonraki mekanik veya kimyasal adımların daha verimli hale gelmesini sağlamaktır. Mekanik hamurdan lignoselüloz nanofibril üretiminde laccase ile lignin oksidasyonunun proses davranışını etkilediğine dair çalışma, laccase'in sadece renk veya ağartma değil, lifli materyal mühendisliği açısından da değerlendirildiğini gösterir [8].

Kâğıt-hamur uygulamalarında laccase'in performansı lif tipi, lignin içeriği, önceki kimyasal işlemler ve proses sıvısındaki çözünmüş organik bileşenlere bağlıdır. Lignin kaynaklı ara ürünlerin enzimi rekabetçi biçimde etkileyebilmesi, özellikle geri devirli veya yüksek çözünmüş organik yük içeren sistemlerde dikkate alınması gereken bir noktadır [5].

Lignoselülozik biyokütle ve biyoyakıt ön işlemleri

Lignoselülozik biyokütle; selüloz, hemiselüloz ve ligninin karmaşık bir ağ oluşturduğu zor işlenen bir hammaddedir. Laccase, lignin fraksiyonunu oksidatif olarak değiştirme kapasitesi nedeniyle biyokütle ön işlem stratejilerinde araştırılır; amaç, sonraki enzimatik veya mekanik işlemlerin erişimini kolaylaştırmak olabilir [9].

Bu kullanım alanında laccase'in etkisi ham maddenin botanik kökenine, parçacık boyutuna, lignin yapısına ve önceden uygulanmış fiziksel/kimyasal işlemlere göre değişir. Tarımsal ve agro-endüstriyel artıkların laccase üretimi veya uygulaması bağlamında değerlendirilmesi, biyokütle temelli döngüsel proseslere olan ilgiyi artırmıştır [9].

Laccase'in burada "tek başına delignifikasyon aracı" gibi düşünülmesi yanıltıcı olabilir. Daha gerçekçi yaklaşım, enzimi mekanik öğütme, hidrotermal işlem, diğer enzimler veya kontrollü kimyasal adımlarla birlikte kullanılan oksidatif modifikasyon bileşeni olarak değerlendirmektir [8].

Gıda ve içecek proseslerinde polifenol yönetimi

Meyve suyu, şarap, bira ve benzeri içeceklerde polifenoller renk, tat, oksidatif stabilite, bulanıklık ve filtrasyon davranışını etkileyebilir. Laccase, polifenollerin oksidatif dönüşümünü sağlayarak bazı proseslerde berraklık, stabilizasyon veya filtrasyon desteği amacıyla değerlendirilir [1].

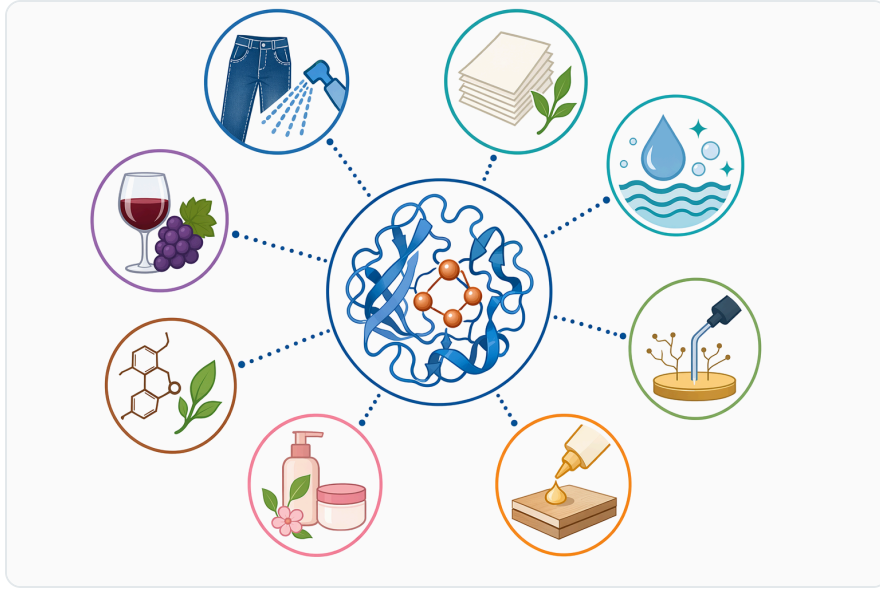


Figure 3. 라카아제는 섬유, 펄프 및 제지, 환경 처리, 식음료 가공, 바이오 기반 소재 등 다양한 분야에서 사용됩니다.

Bu uygulamada mekanizma, fenolik bileşiklerin oksidasyonu ve oluşan ara türlerin daha büyük yapılara dönüşerek çökelme veya uzaklaştırılabilir hale gelmesi şeklinde özetlenebilir. Ancak içecek matrisi; şeker, organik asit, protein, metal iyonu ve doğal antioksidanlar gibi çok sayıda bileşen içerdiğinden sonuç her ürün tipi için aynı değildir [3].

Gıda ve içecek proseslerinde laccase kullanımı, ürünün duyusal profilini değiştirebilecek oksidatif reaksiyonlarla ilişkili olduğundan dikkatli proses tasarımı gerektirir. Amaç sadece fenolik yükü azaltmak değil; renk, aroma, ağız hissi ve raf stabilitesi arasında istenen dengeyi korumaktır [1].

Fenolik kirleticiler, farmasötik kalıntılar ve su arıtımı

Laccase, fenolik kirleticilerin ve bazı mikro kirleticilerin dönüşümünde araştırılan biyokatalizörlerden biridir. Örneğin laccase bazlı geri kazanılabilir nano-katalizörlerin diklofenak bozunumu için çalışılması, enzimin farmasötik kalıntıların giderimi alanında da ilgi gördüğünü gösterir [10].

Fenolik kirleticilerde laccase'in temel katkısı, aromatik yapının elektron transferi yoluyla reaktif ara ürünlere dönüştürülmesidir. Bu ara ürünler polimerleşerek çözeltiden ayrılabilir veya daha ileri dönüşüm adımlarına açık hale gelebilir; fakat ortaya çıkan ürünlerin çevresel etkisi ayrıca değerlendirilmelidir [11].

Su arıtımı gibi karmaşık sistemlerde laccase'in serbest formda kullanımı ile immobilize sistemler arasında önemli farklar vardır. Plazma ile modifiye edilmiş atık PET üzerine laccase immobilizasyonu ve katekol biyobozunumu üzerine yapılan çalışma, taşıyıcı yüzeyinin ve immobilizasyon tasarımının uygulama performansında belirleyici olabileceğini gösterir [12].

Oksidatif çapraz bağlanma, jelasyon ve malzeme uygulamaları

Laccase sadece kirletici giderimi için değil, kontrollü oksidatif çapraz bağlanma için de kullanılır. Enzim kaynaklı hafif jelasyon çalışmalarında laccase'in nanoparçacık stabilizasyonu ve ağ yapı oluşumu üzerindeki etkisi incelenmiş, bu da laccase reaction mekanizmasının malzeme bilimi tarafında nasıl değerlendirildiğini göstermiştir [4].



Figure 4. 강한 화학적 산화에 비해 라카아제 처리는 화학물질 사용 부담을 줄이면서 방향족 기질을 선택적으로 산화할 수 있습니다.

Bu uygulamalarda istenen etki, fenolik gruplar veya uygun aromatik yapılar arasında kovalent veya fizikokimyasal ağların oluşmasıdır. Gıda hidrojel sistemleri, biyopolimer kaplamalar, lif modifikasyonu ve fonksiyonel malzemeler gibi alanlarda laccase'in değeri, parçalama değil kontrollü bağ oluşturma kapasitesinden gelir [4].

Çapraz bağlanma uygulamalarında aşırı oksidasyon, istenmeyen renk değişimi veya viskozite artışı gibi yan etkiler oluşabilir. Bu nedenle laccase burada "daha fazla reaksiyon daha iyi sonuç verir" mantığıyla değil, hedef reoloji ve ürün özellikleriyle uyumlu şekilde değerlendirilmelidir [3].

Biyosensörler ve analitik cihaz uygulamaları

Laccase'in fenolik ve aminli bileşiklerle elektron transferi üzerinden çalışması, biyosensörlerde kullanılmasına da olanak verir. Karboksillenmiş çok duvarlı karbon nanotüpler üzerine immobilize laccase içeren bir biyosensörün tiramin tespiti için çalışılması, enzimin elektrokimyasal algılama platformlarında da yer bulduğunu gösterir [13].

Bu tür uygulamalar, klasik proses enzimi kullanımından farklıdır. Burada enzim bir reaktör katkısı değil, elektrot yüzeyinde elektron transferini yönlendiren fonksiyonel biyolojik bileşendir. Dolayısıyla performansı; elektrot materyali, yüzey kimyası, immobilizasyon stabilitesi ve sinyal işleme tasarımı belirler [13].

Biyosensör ve cihaz uygulamaları laccase'in teknik potansiyelini genişletse de, bunlar genellikle özel mühendislik ve cihaz geliştirme gerektirir. Endüstriyel proses müşterileri için daha doğrudan uygulama alanları çoğunlukla renk giderimi, polifenol yönetimi, lignin modifikasyonu ve atık su işlemedir [2].

Uygulama alanlarının karşılaştırması

Uygulama alanı	Hedef problem	Laccase'in beklenen katkısı	Kanıt durumu	Proses açısından dikkat noktası
Tekstil atık suyu	Boyar madde kaynaklı renk	Aromatik boya yapılarını oksidatif dönüştürme	Çok sayıda çalışma ve derleme mevcut [2]	Gerçek atık su; tuz, yardımcı kimyasal ve boya karışımı içerir
Kâğıt-hamur	Lignin kaynaklı renk ve direnç	Lignin yapılarının oksidatif modifikasyonu	Kombine enzim uygulamaları çalışılmıştır [7]	Lif tipi ve önceki proses adımları sonucu belirler

Uygulama alanı	Hedef problem	Laccase'in beklenen katkısı	Kanıt durumu	Proses açısından dikkat noktası
Lignoselülozik biyokütle	Ligninin erişilebilirliği sınırlaması	Ön işlemden lignin fraksiyonunu değiştirme	Agro-endüstriyel artıklarla ilişkili çalışmalar artmaktadır [9]	Tek başına tam delignifikasyon beklentisi gerçekçi değildir
Gıda ve içecek	Polifenol kaynaklı bulanıklık ve stabilite sorunu	Fenolik bileşikler oksitleyerek uzaklaştırılabilir ürünler oluşturma	Yeşil biyokataliz ve proses uygulamaları içinde değerlendirilir [1]	Duyusal profil ve renk etkileri kontrol edilmelidir
Su arıtımı	Fenolik kirleticiler ve bazı mikro kirleticiler	Kirleticileri oksidatif olarak dönüştürme	Diklofenak ve katekol gibi hedeflerde çalışmalar vardır [10]	Ürün profili ve matris karmaşıklığı önemlidir
Malzeme/jelasyon	Ağ yapısı ve stabilizasyon ihtiyacı	Fenolik gruplar üzerinden çapraz bağlanma	Enzim kaynaklı jelasyon çalışmaları bulunur [4]	Aşırı çapraz bağlanma viskozite ve renk değişimi yaratabilir
Biyosensör	Fenolik/aminli bileşik algılama	Elektrot yüzeyinde elektron transferi sağlama	Tiramin tespiti gibi örnekler vardır [13]	Cihaz tasarımı ve immobilizasyon belirleyicidir

Proses performansını belirleyen değişkenler

Laccase uygulamasında pH, sıcaklık, oksijen erişimi, karıştırma, substrat yapısı ve matris bileşimi birlikte değerlendirilir. Enzim bir oksijen tüketen biyokatalizör olduğu için özellikle sıvı sistemlerde çözülmüş oksijenin yenilenmesi, reaksiyon hızını ve dönüşüm derecesini etkileyebilir [3].

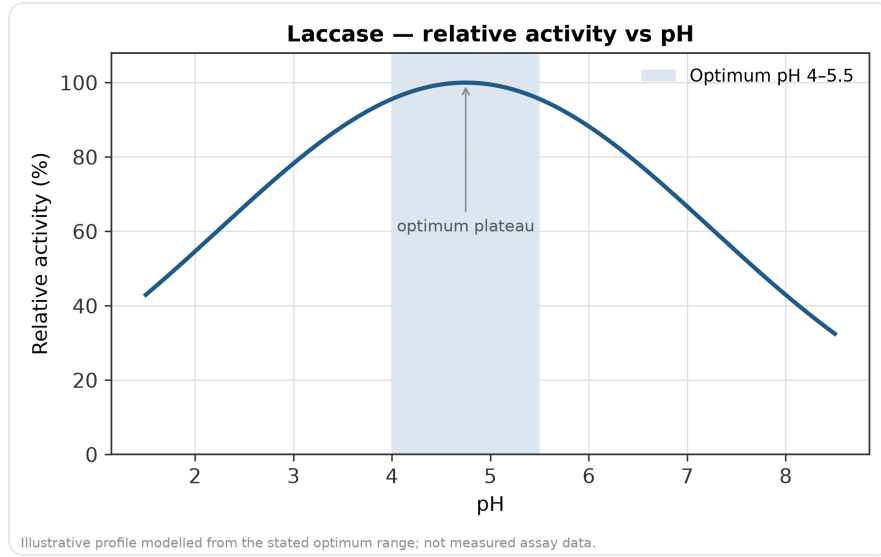


Figure 5. pH'e 따른 라카아제의 상대 활성으로, pH 4-5.5'de en yüksek aktiviteyi göstermektedir.

pH etkisi substrata bağlıdır; bazı fenolik bileşikler belirli pH koşullarında daha kolay oksitlenirken, enzimin yapısal stabilitesi farklı bir aralıkta daha iyi olabilir. Bu nedenle tek bir genel pH ifadesi bütün laccase uygulamalarını açıklamaz; gıda, tekstil, hamur ve atık su matrisleri farklı davranır [14].

Sıcaklık da iki yönlü etki gösterir. Orta düzey sıcaklık artışı reaksiyonu hızlandırabilir, ancak enzimin yapısal bütünlüğü belirli sınırların üzerinde zarar görebilir. Farklı kaynaklardan elde edilen laccase'lerin fizikokimyasal özelliklerinin değişebilmesi, proses uyumluluğunu kaynak ve formülasyon bazında değerlendirmeyi gerektirir [14].

Substrat yapısı, laccase reaction veriminin merkezindedir. Basit fenoller, daha hacimli lignin türevleri, sentetik boyalar ve farmasötik kalıntılar aynı erişilebilirliğe veya elektron transfer davranışına sahip değildir. Redoks potansiyeli tek başına aktiviteyi açıklamadığından, molekülün enzime yaklaşması ve ortam içindeki çözünürlüğü de belirleyici olur [3].

Matris karmaşıklığı çoğu zaman laboratuvar çözeltisi ile üretim hattı arasındaki farkı oluşturur. Tekstil atık sularında tuz ve yardımcı kimyasallar, kâğıt proseslerinde çözünmüş lignin parçaları, içeceklerde doğal antioksidanlar ve proteinler, biyokütle hidrolizatlarında ise bozunma ürünleri laccase performansını etkileyebilir [5].

İmmobilizasyon: serbest enzimden farklı bir mühendislik yaklaşımı

Laccase, bazı araştırmalarda taşıyıcılara bağlanarak veya yüzeylere immobilize edilerek kullanılır. Amaç, enzimin tekrar kullanılabilirliğini artırmak, proses stabilitesini iyileştirmek veya sürekli sistemlere entegrasyon sağlamaktır; ancak immobilizasyon her uygulamada otomatik avantaj anlamına gelmez [12].

İmmobilize sistemlerde taşıyıcı malzeme, yüzey fonksiyonları, gözenek yapısı ve kütle transferi performansı belirler. Örneğin atık PET yüzeyinin modifikasyonu sonrası laccase immobilizasyonunun katekol biyobozunumu için incelenmesi, taşıyıcı seçiminin sadece mekanik destek değil, reaksiyon ortamının aktif parçası olduğunu gösterir [12].

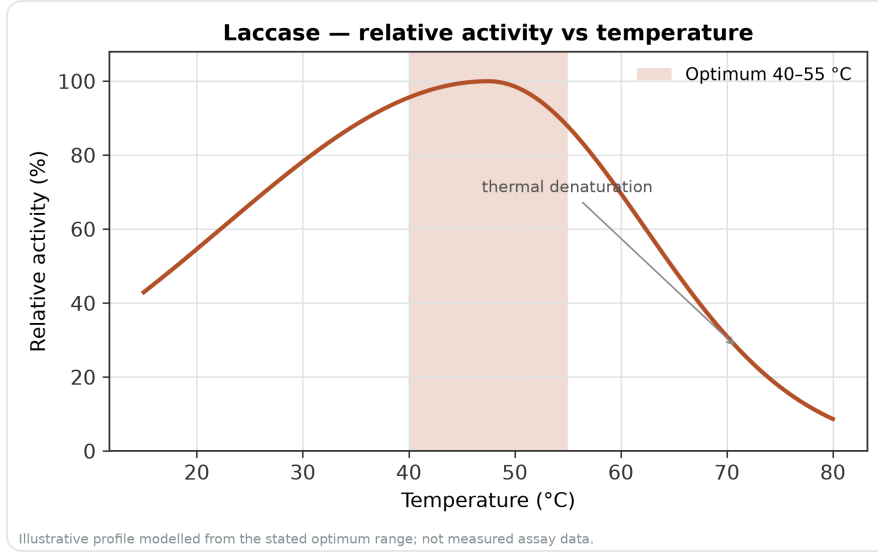


Figure 6. 온도에 따른 라카아제의 상대 활성으로, 40–55°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열변성에 따른 특징적인 활성 감소가 나타납니다.

Nano-taşıyıcılar, metal-organik yapılar ve siklodekstrin bazlı sistemler gibi yaklaşımlar akademik literatürde geniş yer bulur. Diklofenak degradasyonu için geri kazanılabilir laccase nano-katalizörü çalışması, immobilizasyonun özellikle su arıtımı gibi geri kazanımın önemli olduğu sistemlerde araştırıldığını gösterir [10].

Bununla birlikte serbest enzim kullanımı, bazı proseslerde daha basit uygulama ve daha kolay dozajlama sağlar. İmmobilizasyonun kütle transferi sınırlaması, taşıyıcı maliyeti, basınç kaybı veya yüzey kirlenmesi gibi pratik etkileri olabilir; bu yüzden seçim, hedef reaksiyonun mühendislik gereksinimlerine göre yapılmalıdır [2].

Laccase'in diğer oksidatif yaklaşımlarla konumlanması

Laccase, moleküler oksijeni kullanması nedeniyle birçok kimyasal oksidasyon yaklaşımından ayrılır. Yeşil sentetik kimya bağlamında laccase ve lipase gibi enzimler, daha seçici ve daha hafif koşullarda yürüyebilen dönüşümler için örnek biyokatalizörler olarak ele alınır [1].

Kimyasal oksitleyiciler daha hızlı ve daha sert koşullarda çalışabilir; ancak seçicilik, yan ürün kontrolü ve kimyasal yük bakımından dezavantaj oluşturabilir. Laccase ise genellikle daha yumuşak koşullarda çalışır, fakat reaksiyon hızı ve kapsamı substrat yapısına daha fazla bağlıdır [1].

Peroksit kullanan bazı oksidatif enzimlerden farklı olarak laccase'in temel oksijen alıcısı moleküler oksijendir. Bu özellik proses güvenliği ve yan kimyasal yönetimi açısından ilgi çekicidir; ancak oksijen transferi yetersizse reaksiyonun beklenen şekilde ilerlememesi mümkündür [3].

Nanozyme olarak adlandırılan laccase-benzeri katalitik sistemler de son yıllarda fenolik kirletici tespiti veya dönüşümü için çalışılmaktadır. Bakır/çinko bazlı yapılarla fenolik kirleticilerin kolorimetrik tespiti üzerine yapılan çalışma, laccase mekanizmasının yalnızca doğal enzimlerle değil, biyomimetik malzeme tasarımlarıyla da ilişkilendirildiğini gösterir [11].

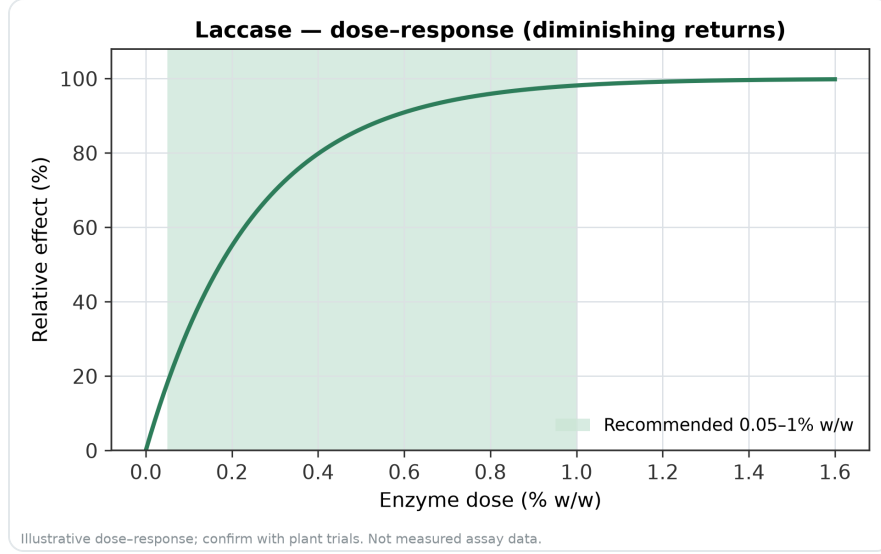


Figure 7. 권장 사용 범위(0.05-1% w/w)에서 라카아제의 예시적 용량-반응 관계.

Bilimsel kanıtların güçlü ve sınırlı yönleri

Laccase için en güçlü kanıt alanları fenolik bileşik oksidasyonu, boya renk giderimi, lignin modifikasyonu ve immobilize enzim sistemleridir. Bu konularda hem uygulama çalışmaları hem de derlemeler bulunur; özellikle boya bazlı endüstriyel kirleticiler için immobilize ligninolitik enzimler literatürde kapsamlı biçimde ele alınmıştır [2].

Kâğıt-hamur ve lignoselülozik materyallerde de kanıt tabanı geniştir. Kombine enzim ağartma çalışmaları, laccase'in tek başına değil diğer biyokatalitik adımlarla birlikte değerlendirildiğinde proses etkisi oluşturabileceğini göstermektedir [7].

Çevresel mikrokirletici giderimi daha dikkatli yorumlanmalıdır. Diklofenak veya katekol gibi hedef bileşiklerde umut verici çalışmalar olsa da gerçek atık su matrisleri çok bileşenli olduğu için laboratuvar başarısı doğrudan saha performansına eşit değildir [10].

Mikroplastik bozunumu gibi güncel alanlarda ise literatür daha temkinlidir. *Pleurotus ostreatus* kaynaklı laccase'in mikroplastik degradasyonundaki etkisini değerlendiren eleştirel derleme, bu alanda ilerleme olduğunu fakat mekanizma, etkinlik ve ölçeklenebilirlik açısından hâlâ önemli soru işaretleri bulunduğunu vurgular [15].

Biyosensörler, nano-katalizörler ve özel malzeme uygulamaları teknik olarak ilgi çekicidir; ancak bunlar çoğu B2B proses kullanıcısı için doğrudan "standart proses katkısı" kategorisinde değerlendirilmez. Tiramin biyosensörü gibi çalışmalar, laccase'in elektron transfer kabiliyetinin cihaz mühendisliğinde nasıl kullanıldığını gösterir [13].

Enzymes.bio üzerinden Laccase tedariki

Enzymes.bio, Laccase ürününü endüstriyel ve gıda proseslerinde kullanılmak üzere B2B müşterilere tedarik eden çevrim içi bir enzim platformudur. Enzymes.bio bir üretici veya laboratuvar değildir; ürün 1 kg birimler halinde çevrim içi doğrudan sipariş edilebilir ve siparişle birlikte CoA ile SDS sağlanır .

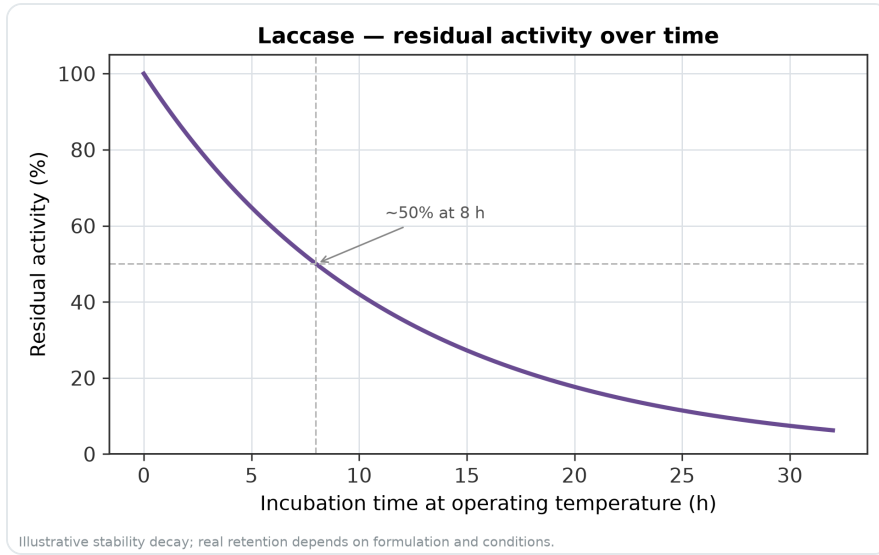


Figure 8. 라카아제의 예시적 열 안정성 감소 — 작동 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소합니다.

Bu tedarik modeli, laccase'i proses geliştirme, üretim optimizasyonu, endüstriyel yardımcı işlem ve gıda işleme bağlamında kullanan profesyonel ekipler için tasarlanmıştır. Ürün sayfası, Laccase kategorisi altında doğrudan çevrim içi satın alma akışıyla sunulur .

Belirli bir proseste beklenen sonuç, enzimin genel mekanizmasından çok proses matrisine bağlıdır. Bu nedenle laccase'in tekstil, içecek, hamur, biyokütle veya su arıtımı uygulamalarında değerlendirilmesi; hedef bileşik, reaksiyon ortamı ve nihai ürün kriterleriyle birlikte yapılmalıdır [3].

Sonuç: Laccase hangi durumda doğru biyokatalizör olur?

Laccase, oksijen kullanarak fenolik ve aromatik yapıların oksidatif dönüşümünü sağlayan güçlü bir biyokatalizör seçeneğidir. En anlamlı kullanım alanları; tekstil renk giderimi, kâğıt-hamur ve lignin modifikasyonu, içeceklerde polifenol yönetimi, çevresel fenolik kirletici dönüşümü ve kontrollü çapraz bağlanma uygulamalarıdır [2].

Enzimin avantajı, oksidatif reaksiyonları daha seçici ve daha düşük kimyasal yükü destekleyebilmesidir. Sınırlayıcı tarafı ise performansın pH, sıcaklık, oksijen transferi, substrat yapısı, matris karmaşıklığı ve reaksiyon ürünlerine duyarlı olmasıdır [3].

Enzymes.bio tarafından tedarik edilen Laccase, B2B proses kullanıcıları için 1 kg birimler halinde çevrim içi doğrudan siparişe açık bir enzim ürünüdür. Doğru proses koşullarında laccase, kimyasal oksidasyon yükünü azaltmaya, fenolik bileşik yönetimini desteklemeye, renk giderimi sağlamaya ve ligninle ilişkili materyallerde kontrollü oksidatif modifikasyon oluşturmaya yardımcı olabilir .

Laccase ürününü online sipariş edin

1 kg birimler halinde satılır; stokta mevcut ve sevkiyata hazırdır. Mağazamızdan doğrudan sipariş verin — online ödeme yapın, siparişinizi işleme alalım. Her siparişe Analiz Sertifikası ve Güvenlik Bilgi Formu dahildir.

[Laccase satın alın →](#)

Kaynaklar

İlk atıf sırasına göre numaralandırılmıştır. Açık erişimli kaynaklardır; her birinin yayım sırasında erişilebilir olduğu doğrulanmıştır. Metindeki atıf numaraları buraya bağlantı verir:

1. Scheibel, D., Gitsov, I. P. I., & Gitsov, I. (2024). Enzymes in “Green” Synthetic Chemistry: Laccase and Lipase. *Molecules*, 29.
2. Bilal, M., Asgher, M., Parra-Saldívar, R., Hong-Hu, Wang, W., Zhang, X., & Iqbal, H. M. (2017). Immobilized ligninolytic enzymes: An innovative and environmental responsive technology to tackle dye-based industrial pollutants - A review. *Science of the Total Environment*, 576, 646-659 .
3. Ali, M., Bhardwaj, P., Ishqi, H. M., Shahid, M., & Islam, A. (2023). Laccase Engineering: Redox Potential Is Not the Only Activity-Determining Feature in the Metalloproteins. *Molecules*, 28.
4. Liu, Q., Cui, H., Muhoza, B., Duhoranimana, E., Hayat, K., Zhang, X., & Ho, C. (2021). Mild Enzyme-Induced Gelation Method for Nanoparticle Stabilization: Effect of Transglutaminase and Laccase Cross-Linking. *Journal of Agricultural*

and Food Chemistry.

5. Pamidipati, S., & Ahmed, A. (2019). A first report on competitive inhibition of laccase enzyme by lignin degradation intermediates. *Folia Microbiologica (Prague)*, 65, 431 - 437.
6. Saeed, H., Rehman, B., Ejaz, U., Ashraf, M., Siraj, A., Mustafa, A., & Sohail, M. (2026). Sustainable Laccase Production by Anoxybacteroides rupiense UE27 Using Desmostachya bipinnata Biomass: Optimisation and Application in Textile Effluent Treatment. *Environmental Microbiology*, 28 6, e70335 .
7. Guo, W., Hui, L., Song, F., Qu, Y., Wang, Q., Zhang, Y., Xin, J., ... et al. (2025). A new strategy for biological enzyme bleaching: combined effects of laccase, xylanase, and mannanase in the bleaching of softwood kraft pulp – a synergistic effect of enzymes. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 40, 465 - 476.
8. Henríquez-Gallegos, S., Albornoz-Palma, G., Andrade, A., Filgueira, D., Méndez-Miranda, A., Mendonça, R. T., & Pereira, M. (2024). Effect of enzyme lignin oxidation by laccase on the enzymatic-mechanical production process of lignocellulose nanofibrils from mechanical pulp. *Cellulose*, 31, 3545 - 3560.
9. Sustainable Biotechnological Approaches for Fungal Laccase Production: Valorization of Agro-Industrial Residues through Solid-State Fermentation. *Semantic Scholar* (2026).
10. Jiang, J., Dao, F., Huang, J., Xie, J., Zhang, H., Rui, D., & Cao, M. (2025). Recyclable laccase nano-catalyst based on aldehyde- β -cyclodextrin and Fe-ZIF for diclofenac degradation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141869 .
11. Wei, W., Wang, H., Su, P., Song, J., & Yang, Y. (2025). Bioinspired Cu/Zn-ZIF nanozyme with excellent laccase-like activity for selective colorimetric detection of phenolic pollutants. *Talanta: The International Journal of Pure and Applied Analytical Chemistry*, 291, 127862 .
12. Orsua-Gaona, R., Narro-Céspedes, R. I., Ilina, A., Mora-Cortés, L. F., Reyes-Acosta, Y. K., Soria-Arguello, G., Luevano-Martínez, C., ... et al. (2025). Etching and Precursor Effects on Plasma-Modified Waste Polyethylene Terephthalate (PET) to Laccase Immobilization Applied in Catechol Biodegradation for Water Treatment. *Coatings*.
13. Kizzon, N. S., Azhari, S., od, N. H. M., & Misral, N. H. (2025). Fabrication of a Laccase-Immobilised Biosensor Based on Carboxylated Multi-Walled Carbon Nanotubes for Sensitive Tyramine Detection. *Sains Malaysiana*.
14. Chowdhury, P., Hari, R., Chakraborty, B., Mandal, B., Naskar, S., & Das, N. (2014). Isolation, culture optimization and physico-chemical characterization of laccase enzyme from Pleurotus fossulatus. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 17 2, 173-81 .
15. Ramamurthy, K., Thomas, N. P., Gopi, S., Sudhakaran, G., Haridevamuthu, B., Namasivayam, K. R., & Arockiaraj, J. (2024). Is Laccase derived from Pleurotus ostreatus effective in microplastic degradation? A critical review of current progress, challenges, and future prospects. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133971 .


Enzymes.bio ile iletişime geçin


Siparişinizle ilgili sorularınız mı var? Ekibimiz yardımcı olmaktan memnuniyet duyar.

E-POSTA wholesale@enzymes.bio

TELEFON (ABD) [+1 \(507\) 428-6057](tel:+1(507)428-6057)

[Bize ulaşın →](#)

 **400+** B2B müşteriler

 **60+** üniversite araştırma ortakları

 **54** dünya genelinde hizmet

© 2026 Enzymes.bio · Endüstriyel ve gıda işleme enzim tedariki · İnsan tüketimi veya perakende satış için değildir.