

Laccase（ラッカーゼ）酵素：食品・飲料のポリフェノール管理、リグニン変換、染料・フェノール性排水処理への実務ガイド

Enzymes.bio リサーチチーム・ニュージーランド・ウェリントン・June 18, 2026

Laccase（ラッカーゼ）は、分子状酸素を最終電子受容体として使い、フェノール性化合物、リグニン関連構造、特定の芳香族化合物を酸化するマルチ銅酸化酵素です。主な用途は、果汁・ワイン・ビールなどのポリフェノール管理、バイオマス中リグニンの変換、染料やフェノール性汚染物質の酸化処理であり、反応性は基質構造、pH、温度、酸素供給、メディエーターの有無に強く左右されます^[1]。

Enzymes.bioは、LaccaseをB2B向けに供給するサプライヤーであり、製造業者または研究所ではありません。製品はオンラインで1 kg単位から直接購入でき、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

Laccaseとは何か：酸素でフェノールを酸化するマルチ銅酸化酵素

Laccase enzymeは、酸化還元酵素の一種で、基質から電子を引き抜き、その電子を酵素内の銅中心を通じて酸素へ渡し、最終的に水を生成する触媒です。反応対象としてよく挙げられるのはフェノール類、メトキシフェノール類、アニリン類、リグニン由来芳香族構造、合成染料に含まれる酸化されやすい発色団です。過酸化水素を必須とするペルオキシダーゼとは異なり、Laccaseは酸素を直接使える点が特徴で、食品加工、繊維、パルプ、バイオリファイナリー、排水処理などで研究・利用されてきました^[2]。

実務上の重要点は、Laccaseが「有機物を一律に分解する酵素」ではないことです。電子を渡しやすいフェノール性水酸基を持つ化合物では反応が進みやすい一方、非フェノール性リグニン単位、疎水性が高く酵素の活性部位へ入りにくい化合物、酸化還元電位が高い化合物では、単独反応が遅い場合があります。そのため、Laccase activityを工程で評価するときは、対象原料の「総ポリフェノール量」だけでなく、フェノール性水酸基の位置、置換基、重合度、タンパク質や多糖との複合化、溶存酸素の移動まで含めて考える必要があります^[1]。

関連検索で見られる「laccase structure」は、この基質選択性を理解するうえで重要です。典型的なLaccaseは複数の銅原子を含むマルチ銅酸化酵素で、基質酸化部位と酸素還元部位が分かれています。基質から1電子が引き抜かれるとフェノキシラジカルなどの中間体が生じ、これがカップリング、重合、架橋、または開裂を伴う二次反応へ進みます。したがってLaccase反応の直接産物は、単純な「分解物」だけでなく、より高分子化した沈殿性物質や、色調が変化した酸化生成物になることがあります^[3]。

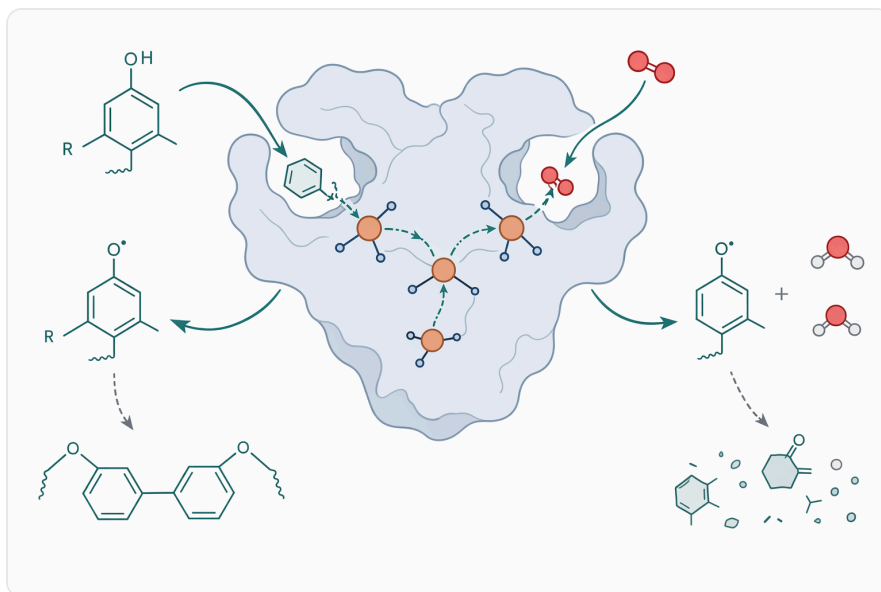


Figure 1. 라카아제는 산소를 물로 환원시키는 동시에 페놀성 기질의 1전자 산화를 촉매합니다.

構造化学的に見る fungal laccase activity

「a structural chemical explanation of fungal laccase activity」として整理すると、真菌由来Laccaseの反応は、フェノール性基質の酸化還元電位、活性部位への接近性、銅中心間の電子移動、生成ラジカルの後続反応という4段階で理解できます。基質がT1銅中心近傍で電子を渡すと、基質側にはラジカル性が生じ、酵素側の電子は内部電子移動を経て酸素還元部位へ運ばれます。酸素は段階的に還元され、水へ変換されるため、理論上は強力な化学酸化剤を大量に加えずに酸化反応を進められます^[2]。

真菌Laccaseがリグニンや色素の変換に頻繁に使われる理由は、リグニンがフェニルプロパン単位から成る複雑な芳香族高分子であり、その中にフェノール性構造や酸化可能な結合が含まれるためです。ただし天然リグニンには非フェノール性単位も多く、酵素が高分子内部へ物理的に届きにくい部位もあります。そのため、Laccase単独でリグニンが完全に低分子化するわけではなく、部分酸化、ラジカル生成、再重合、官能基変換が同時に起こることがあります。Trametes属などのリグニン分解菌に関する研究では、Laccaseを含む酸化酵素系がリグニン代謝や芳香族化合物変換に関与することが示されています^[4]。

Laccaseの構造と機能を区別して理解することは、食品・飲料用途でも重要です。果汁やワイン中のポリフェノールは低分子のものからタンニン様の高分子まで幅があり、酸化されると褐変、沈殿、タンパク質との相互作用、濁り形成に関わります。Laccase反応は、こうした成分を「除去しやすい形」へ変える場合もあれば、過剰に進むと色や風味に影響する場合があります。したがって、反応を強くすればよいのではなく、目的とする品質変化に合わせて工程内の接触時間、酸素、温度、後段のろ過・清澄工程を設計することが重要です^[1]。

Laccaseが使われる主要用途

果汁・飲料加工：ポリフェノール酸化、清澄化、ろ過性改善

果汁・飲料加工でLaccaseが注目される理由は、ポリフェノールが濁り、沈殿、褐変、酸化的な色調変化に関わるからです。リンゴ、ブドウ、ベリー類、茶系飲料、植物抽出液では、フェノール酸、フラボノイド、タンニン様成分がタンパク質や多糖と相互作用し、貯蔵中にヘイズを生じることがあります。Laccaseはこれらの一部を酸化し、キノン様中間体やラジカルを経て、重合・凝集・沈降しやすい形へ変えることがあります。この挙動は「分解」よりも「制御された酸化的変換」と表現する方が正確です^[1]。

ワインやビールでは、ポリフェノールは単なる不純物ではありません。ワインでは色、渋味、ボディ、熟成中の酸化安定性に関わり、ビールではタンパク質-ポリフェノール複合体による寒冷混濁や貯蔵安定性に関係します。Laccaseの使用を考える場合、目標はポリフェノールを完全に除くことではなく、沈殿しやすい画分、過剰な酸化反応を引き起こす画分、ろ過負荷を高める画分を工程上扱いやすくすることです。基質が複雑なため、原料ロット、品種、前処理、溶存酸素、発酵後の成分組成により効果が変わります^[1]。

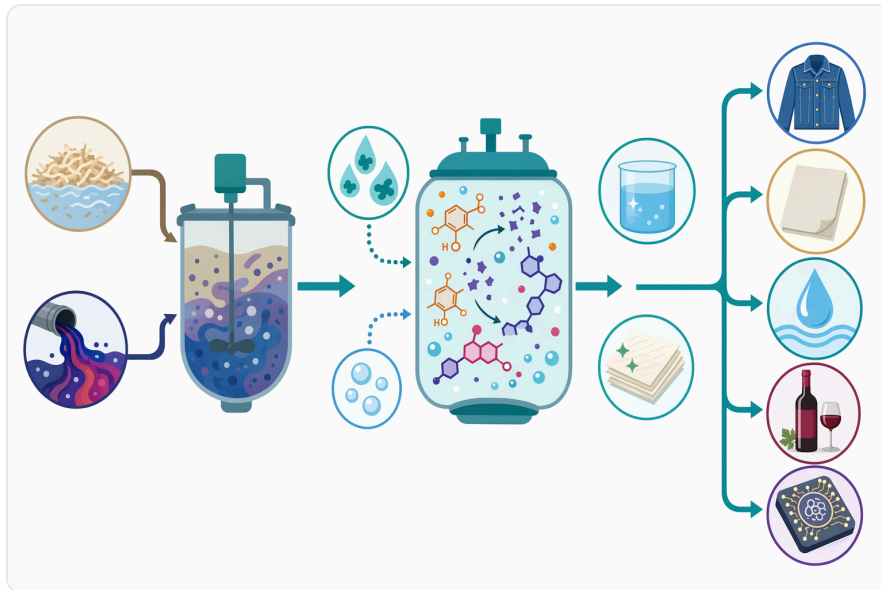


Figure 2. 산업용 라카아제 공정은 산소 기반 산화를 이용해 리그닌, 염료, 페놀류 및 기타 방향족 화합물을 변형합니다.

ベーカリー・タンパク質素材：酸化的架橋と物性調整

穀物加工やベーカリー用途では、Laccaseはフェノール性成分を介した酸化的架橋により、生地
の粘弾性や構造形成へ影響する可能性があります。小麦、ルピン、ホエイなどのタンパク質系素材
では、タンパク質同士の直接架橋だけでなく、フェノール性化合物を介したタンパク質-多糖ネット
ワーク、酸化されたフェノールとアミノ酸側鎖の相互作用が問題になります。ルピンおよびホエイタ
ンパク質粉末に対するLaccaseとトランスグルタミナーゼの影響を扱った研究では、酵素処理が物
理化学的・機能的特性を変えることが検討されています^[5]。

この領域でのLaccase利用は、果汁清澄化とは目的が異なります。飲料では酸化生成物を沈降・ろ
過で除去することが多いのに対し、ベーカリーやタンパク質素材では、酸化反応によって形成され
たネットワーク自体が最終物性へ寄与します。したがって、同じLaccase enzymeであっても、望ま
しい反応は「沈殿」ではなく「保持される構造形成」になります。反応生成物が製品中に残る設計
では、原料適合性、表示、規制、感覚品質への影響を用途ごとに確認する必要があります。

リグニン・バイオマス処理：分解だけでなく重合・機能化も起こる

Laccaseはリグニン関連処理で頻繁に検索される酵素です。リグニンファースト・バイオリファイナ
リーに関するレビューでは、耐熱性Laccaseを含む酸化酵素が、リグニン変換やバイオマス価値化の
文脈で取り上げられています^[2]。リグニンは不均一な高分子であり、酵素反応では結合切断だけ
でなく、フェノキシラジカルのカップリングによる再重合、分子量増大、官能基導入、溶解性変化が
起こり得ます。

実験研究でも、バクテリア由来Laccaseと真菌由来Laccaseを用いたクラフトリグニンの酵素的重合が比較されており、Laccaseがリグニンを単純に低分子化するだけでなく、高分子化・材料化へ使われることが示されています^[6]。また、トウモロコシ芯由来リグニンの抽出後にLaccase処理を行う研究では、アルカリ抽出やオルガノソルブ抽出で得られたリグニンの機能化が検討されています^[7]。これらは、Laccaseがバイオマス分解酵素であると同時に、リグニン材料の反応性を調整する酵素でもあることを示しています。

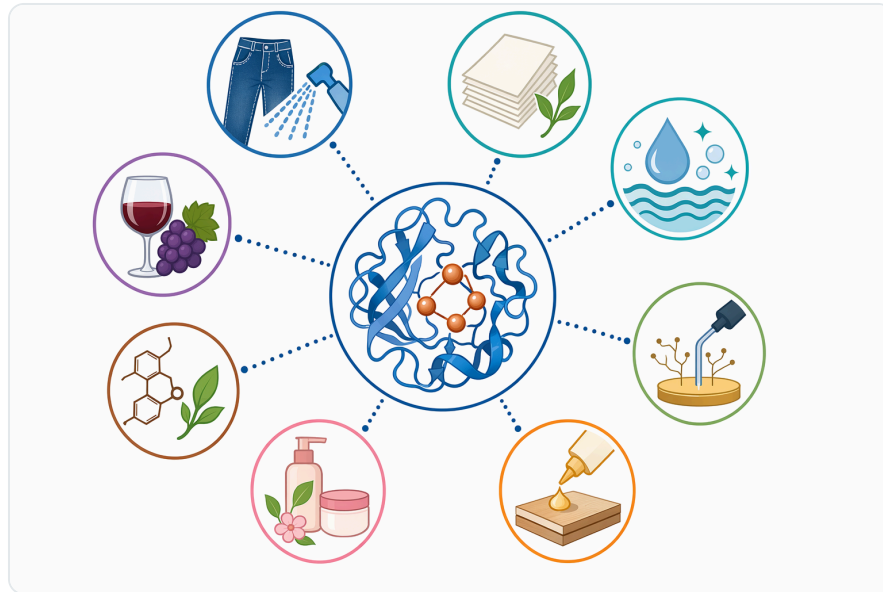


Figure 3. 라카아제는 섬유, 펄프 및 제지, 환경 처리, 식음료 가공, 바이오 기반 소재 등 다양한 분야에서 사용됩니다.

染料・フェノール性排水処理：脱色、毒性低減、後段処理の補助

染料排水やフェノール性汚染物質の処理では、Laccaseは脱色、発色団の酸化、芳香族化合物の変換に使われます。自由酵素および固定化Laccaseによるフェノール性化合物の解毒に関するレビューでは、Laccaseがフェノール類を酸化し、重合・沈殿・構造変換を通じて毒性や移動性を変える可能性が整理されています^[1]。ただし、脱色率が高いことと、最終的な無害化が完了したことは同義ではありません。色が消えても中間体が残る場合があるため、排水処理では後段の生物処理、吸着、凝集、膜処理などとの組み合わせが現実的です。

実排水に近い条件での応用研究もあります。Laccaseを無機ハイブリッドナノフラワーとして固定化し、抗生物質分解、実排水への適用、毒性評価を扱った研究では、固定化形態が反応性と再利用性の設計要素として検討されています^[8]。また、Aspergillus由来菌株による染料排水脱色研究や、反応性黒色染料に対するTrametes hirsutaの応答研究では、微生物・酵素系が色素分解に関わることが報告されています^[9]。Laccaseを排水工程に使う場合、対象染料の構造、塩濃度、界面活性剤、重金属、pH変動が結果に大きく影響します。

Laccase mediatorとlaccase-mediator systemの考え方

Laccase単独では酸化しにくい基質に対して、低分子の酸化還元化合物を介在させる仕組みがlaccase mediatorまたはlaccase-mediator systemです。基本的には、Laccaseがまずメディエーターを酸化し、酸化型メディエーターが酵素の活性部位へ入りにくい高分子基質や、酸化還元電位の高い非フェノール性構造を間接的に酸化します。これにより反応範囲は広がりますが、メディエーター自体のコスト、残留、毒性、用途規制、生成物管理が新たな課題になります^[2]。

リグニン処理では、laccase-mediator systemが特に重要です。非フェノール性リグニン単位はLaccase単独で酸化されにくいことが多く、メディエーターが電子移動を中継することで、側鎖酸化、結合開裂、官能基変換が進みやすくなります。一方で、生成したラジカル同士が再結合すれば分子量が増すこともあります。つまり、メディエーターを使うと常に「分解方向」へ進むわけではなく、原料の構造、酸素供給、反応時間、pHによって、脱重合と再重合のバランスが変わります^[7]。

食品・飲料用途では、メディエーターの扱いはさらに慎重になります。研究上有効なメディエーターであっても、食品工程で許容されるとは限りません。飲料清澄化や醸造工程では、原料中に天然に存在するフェノール類が実質的な電子移動媒体として働く場合もありますが、外部メディエーターを導入する場合は、法規制、残留、官能品質、除去工程を明確にする必要があります。したがって、Laccase mediatorは反応化学を広げる有力な手段である一方、実装には用途別の制約が伴います。



Figure 4. 가속한 화학적 산화에 비해 라카아제 처리는 화학물질 사용량을 줄이면서 방향족 기질을 선택적으로 산화할 수 있습니다.

Laccase guaiacol、laccase sigma、laccase enzyme pptという検索語の位置づけ

「laccase guaiacol」は、Laccaseの反応性を理解する文脈でよく見られる検索語です。Guaiacolはメトキシフェノール構造を持つ代表的なフェノール性化合物で、Laccaseによって酸化されやすいモデル基質として知られています。ここで重要なのは、guaiacolで反応が見えることが、実際の果汁、リグニン、染料排水で同じ挙動を示すことを保証しない点です。実原料では、基質の混合状態、pH、酸素移動、共存する阻害物質、生成物の凝集性が加わります^[10]。

「laccase sigma」は、特定の試薬ブランドや研究用試薬を探す検索意図で使われることが多い語です。一方、B2Bの産業用途では、研究用試薬名よりも、工程適合性、対象基質、使用目的、供給形態、法規制、文書提供の有無が重要になります。Enzymes.bioは研究機関そのものではなく、B2B酵素サプライヤーとしてLaccaseをオンライン供給する立場です。製品は1 kg単位で直接購入でき、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

「laccase enzyme ppt」は、教育資料や社内説明資料を探す検索語として見られます。社内で説明する場合は、Laccaseを「酸素を使う酸化酵素」とだけ説明すると不十分です。実務者向けには、①フェノール性基質から1電子を引き抜く、②ラジカル中間体が生成する、③重合・架橋・沈殿・脱色などの二次反応が起こる、④酸素は水へ還元される、という流れで説明すると、飲料清澄化、リグニン変換、排水脱色を同じ反応原理で結び付けられます^[1]。

用途別に見たLaccase反応の狙いと注意点

用途領域	主な対象基質	期待される反応	工程上の狙い	注意すべき点
果汁・植物飲料	ポリフェノール、フェノール酸、タンニン様成分	酸化、重合、凝集	清澄化、ヘイズ低減、ろ過性改善	色調・香味への影響、原料ロット差
ワイン・ビール	ポリフェノール、タンパク質複合体	酸化的変換、沈殿性変化	濁り管理、色調安定化	有用な色・風味成分まで変化し得る
ベーカリー・タンパク質素材	フェノール性成分、タンパク質・多糖系	酸化的架橋、ネットワーク形成	生地物性、構造改良	最終製品中に反応生成物が残る設計
リグニン・バイオマス	フェノール性リグニン、リグニン抽出物	酸化、再重合、官能基変換	脱リグニン補助、材料機能化	分解と重合が同時に起こる
染料・排水	アゾ染料、フェノール類、芳香族汚染物質	脱色、酸化、重合、毒性変化	後段処理の補助、着色低減	脱色と完全無害化は同義ではない

この比較から分かるように、Laccaseの価値は用途ごとに異なります。飲料では「除去しやすくする」、ベーカリーでは「構造を作る」、リグニンでは「分解または機能化する」、排水では「酸化して後段処理しやすくする」というように、同じ酸化反応でも評価指標が変わります。Laccase activityを単一の数値感覚だけで比較すると、実工程での成果を誤って解釈することがあります^[1]。

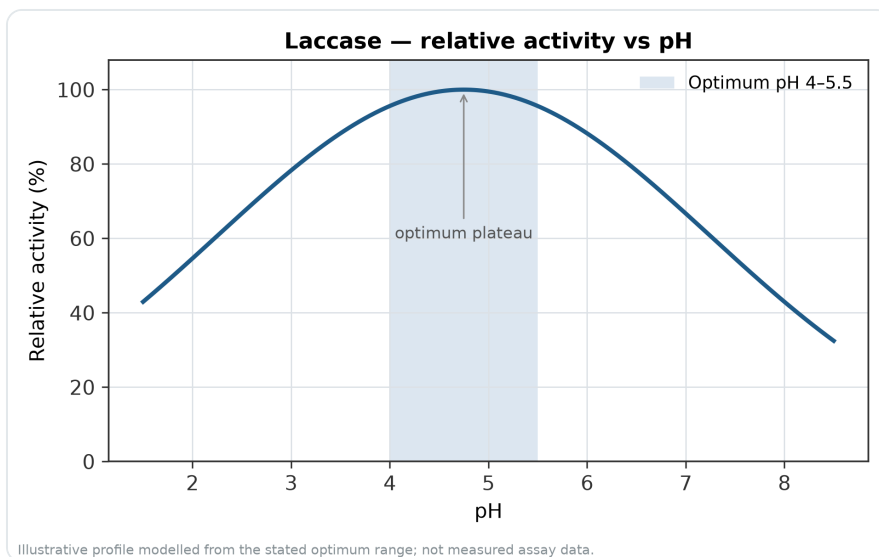


Figure 5. pH에 따른 라카아제의 상대 활성으로, pH 4-5.5에서 최적 활성 구간이 나타납니다.

固定化Laccase：再利用性と安定性を高める設計

固定化Laccaseは、酵素を担体へ結合、吸着、包括、または複合化することで、再利用性、機械的安定性、環境耐性を高めるための技術です。固定化マトリックス選択に関するレビューでは、担体の化学性、孔径、表面官能基、酵素の配向、物質移動が性能に影響することが整理されています^[11]。自由酵素は均一に分散しやすく反応開始が速い一方、回収が難しい場合があります。固定化酵素は回収・再利用がしやすい反面、基質が担体内部へ拡散する必要があり、高分子基質では物質移動が制限になることがあります。

実験例として、油ヤシ空果房の前処理に向けてLaccaseを強磁性担体へ固定化した研究では、バイオマス前処理における酵素回収性や工程統合が検討されています^[12]。また、エポキシ官能化シリカへLaccaseを固定化し、フェノール性化合物の生分解へ応用した研究もあります^[13]。これらは、固定化が単に酵素を固体へ付ける操作ではなく、対象基質、反応液、回収方法、反応器設計と一体化した技術であることを示しています。

一方、食品・飲料工程で固定化Laccaseを採用する場合は、担体の食品適合性、酵素の流出、洗浄、微生物管理、製品との接触条件が課題になります。排水やバイオマス処理では固定化による再利用性が強い利点になりますが、濁り成分や固形分が多い液では担体表面が汚染され、反応効率が

低下することがあります。したがって、固定化Laccaseは有望ですが、自由酵素より常に優れるわけではありません。

Laccase由来の違い：真菌、細菌、耐熱性、好塩性

Laccaseは真菌、細菌、植物など幅広い生物に見られます。真菌由来Laccaseはリグニン分解や染料脱色の研究でよく扱われ、Trametes、Pleurotus、Aspergillusなどの属が文献に登場します。Pleurotus sajor-cajuの固体発酵条件最適化研究や、Hexagonia hirtaによるコイアピス廃棄物を用いたLaccase生産研究は、真菌Laccaseが農業副産物を基質とする発酵プロセスで注目されていることを示しています[14][15]。

細菌由来Laccaseには、耐熱性やpH耐性など、工程上有利な性質を示すものがあります。Bacillus licheniformis由来の耐熱性Laccaseを精製・特性評価し、染料脱色へ使った研究や、南極由来Geobacillusから新規Laccaseを単離・評価した研究では、特殊環境由来酵素が高温や過酷条件での処理候補として検討されています[16][17]。バイオリファイナリーや排水処理では、温度、塩、pH、共存物質への耐性が処理コストや工程安定性に直結します。

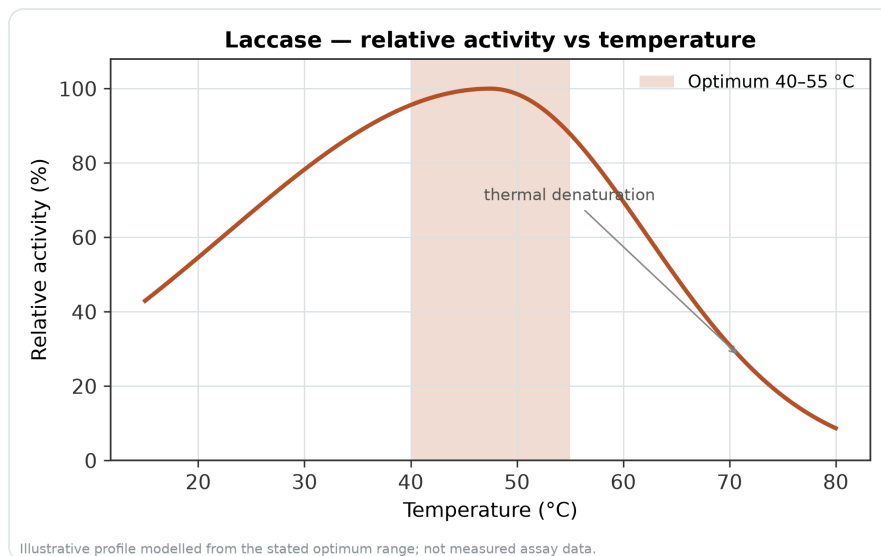


Figure 6. 온도에 따른 라카아제의 상대 활성으로, 40–55° C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도를 넘어서면 열 변성으로 인해 활성이 감소하는 특징을 나타냅니다.

好塩性Laccaseも、塩濃度が高いバイオマスや排水で意味を持ちます。ニンニク皮廃棄物のグリーン価値化に関する研究では、好塩性Laccaseを用いた脱リグニンとバイオリファイナリー応用が扱われています[18]。塩濃度が高い条件では、多くの酵素で構造安定性や基質結合が変わるため、好塩性酵素は特定の原料や排水で有利になる可能性があります。ただし、由来が異なれば最適条件、基質選択性、生成物分布も異なるため、用途名だけで同等に扱うことはできません。

Laccase反応を左右する工程因子

Laccase反応でまず重要なのは酸素です。Laccaseは酸素を最終電子受容体として使うため、反応液中の溶存酸素が不足すると、基質が十分に存在しても酸化反応が頭打ちになります。粘度が高い液、固形分が多いスラリー、深いタンク、静置条件では、酸素移動が制限になることがあります。逆に、過剰な酸化環境や金属イオン、ラジカル反応を促す共存成分があると、目的外の褐変や風味変化が起こる場合があります^[1]。

pHと温度も反応性に影響します。Laccaseの最適pHは酵素由来や基質で異なり、同じ酵素でもフェノール基質、アミン系基質、染料基質で見かけの反応性が変わることがあります。温度を上げると反応速度は増える傾向がありますが、酵素失活も速くなり得ます。耐熱性Laccaseのレビューや耐熱性細菌Laccaseの研究は、高温工程へ適用できる酵素設計が重要な研究領域であることを示しています^{[2][16]}。

基質濃度も単純ではありません。低濃度では反応速度が基質供給に依存しやすく、高濃度では生成ラジカルの二次反応、沈殿、酵素表面への吸着、生成物阻害が起こることがあります。果汁ではフェノール酸やフラボノイドが混在し、排水では染料、界面活性剤、塩、重金属が共存します。油汚染土壌の酵素的バイオレメディエーションにLaccaseを用いた研究では、応答曲面法により条件最適化が検討されており、複合環境では単一因子ではなく相互作用が結果を左右することが示唆されます^[19]。

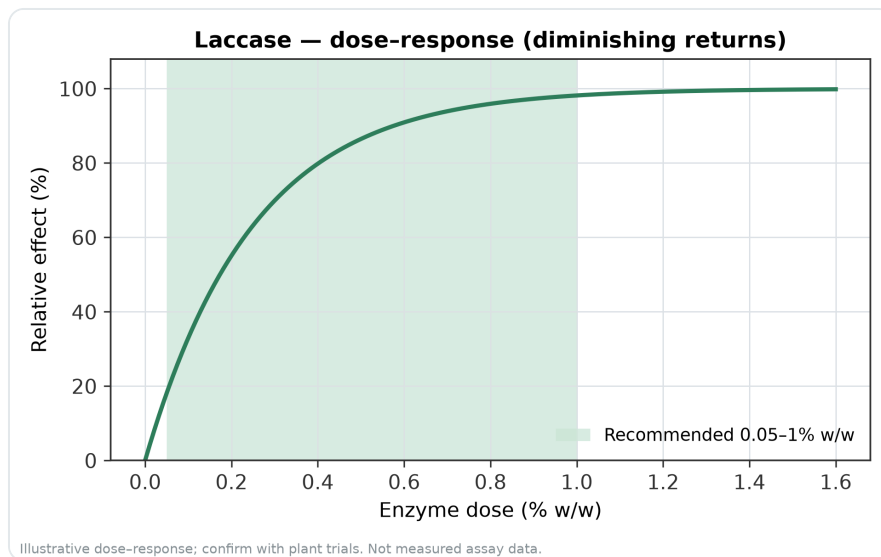


Figure 7. 권장 사용 범위(0.05-1% w/w)에서 라카아제의 예시적 용량-반응 관계를 보여줍니다.

Laccaseの利点と限界

Laccaseの利点は、酸素を利用し、比較的温和な条件でフェノール性化合物を酸化できる点です。強い化学酸化剤を多用する処理に比べ、反応選択性が高く、副反応や処理負荷を抑えられる可能性があります。染料脱色、フェノール性汚染物質の解毒、リグニン変換、植物由来ポリフェノール管理といった分野では、Laccaseが持続可能な触媒として検討されてきました^[20]。

限界は、反応対象が限定され、結果が工程条件に強く依存することです。非フェノール性化合物には単独で反応しにくい場合があります。メディエーターを使うと反応範囲は広がるものの、残留性や安全性の問題が生じます。また、Laccase反応は脱色や沈殿を起こしても、対象物質が完全に鉱化されるとは限りません。排水処理では、Laccaseを単独完結処理ではなく、前処理または後段処理を助ける酸化ステップとして位置づける方が現実的です^[1]。

食品・飲料用途では、効果と品質変化の両方を見る必要があります。ポリフェノールを酸化して濁りを減らすことは有用ですが、色、香り、渋味、抗酸化性、保存中の変化にも影響します。特にワインや植物抽出飲料では、ポリフェノールは品質を構成する成分でもあります。Laccaseは「不要成分を選択的に消す魔法の酵素」ではなく、酸化反応を工程内で制御するための触媒として扱うべきです。

Enzymes.bioにおけるLaccaseの供給位置づけ

Enzymes.bioは、Laccaseを含む酵素をB2B向けに供給するサプライヤーです。製造業者・研究所としての工程開発や分析サービスを提供する立場ではなく、食品・飲料、バイオプロセス、繊維、環境処理などで利用される酵素原料をオンラインで直接購入できる供給形態を取っています。

Laccase製品は1 kg単位で購入でき、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

実務文書として重要なのは、Laccaseの用途を過度に広げて表現しないことです。果汁清澄化、ポリフェノール管理、リグニン変換、染料脱色、フェノール性化合物の酸化処理はいずれも文献上の根拠がありますが、各用途で求められる成果は異なります。飲料では清澄化と官能品質、リグニンでは脱重合と再重合のバランス、排水では脱色と毒性低減、固定化では再利用性と物質移動が評価軸になります^{[8][6]}。

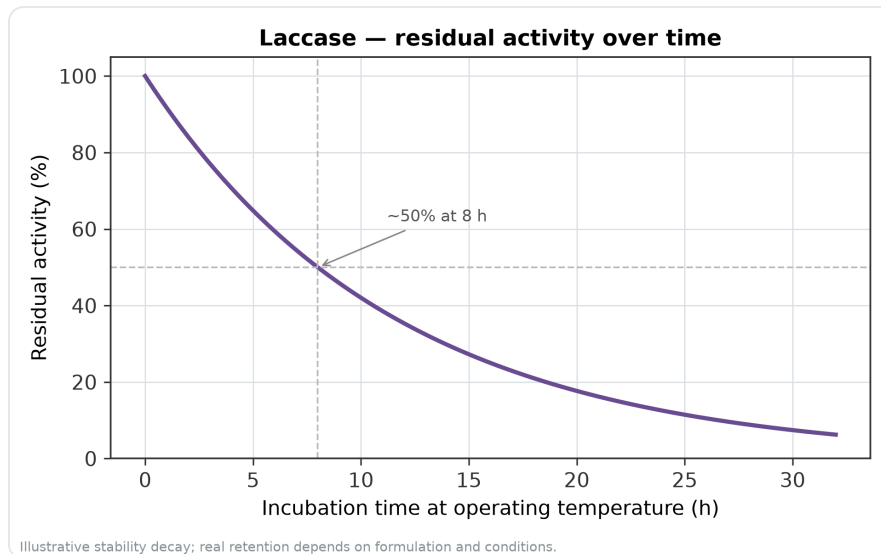


Figure 8. 라카아제의 예시적 열 안정성 감소로, 작동 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소합니다.

まとめ：Laccaseは酸化反応を工程内で制御するための酵素

Laccaseは、酸素を使ってフェノール性化合物やリグニン関連構造を酸化するマルチ銅酸化酵素です。食品・飲料ではポリフェノール管理、清澄化、濁り低減、ろ過性改善に関わり、バイオマス処理ではリグニンの脱重合、再重合、機能化に使われ、環境分野では染料やフェノール性汚染物質の酸化変換に応用されます^[1]。

Laccase structureを反応化学として見ると、基質から1電子を引き抜き、ラジカル中間体を作り、酸素を水へ還元する仕組みが中心です。このため、Laccase reactionの結果は単純な分解に限られず、重合、架橋、沈殿、脱色、官能基変換として現れます。laccase mediatorを組み合わせれば反応範囲は広がりますが、食品適合性、残留、規制、生成物管理が用途ごとに問題になります^[2]。

Enzymes.bioのLaccaseは、B2B用途向けにオンラインで1 kg単位から直接購入できる酵素原料です。CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。工程でLaccaseを使う際は、「何を酸化したいのか」「酸化後に沈殿・除去したいのか、材料中に保持したいのか」「メディエーターや固定化が必要か」「後段処理で何を確認するか」を用途ごとに明確にすることが、実務上の性能を最大化する鍵になります。

Laccaseをオンライン注文

1 kg単位で販売、在庫あり・即出荷可能です。オンラインストアで直接ご注文・決済いただければ、当社でご注文を処理します。すべてのご注文に試験成績書（CoA）と安全データシート（SDS）が付属します。

Laccaseを購入 →

参考文献

初出引用順に番号を付けています。各出典はオープンアクセスで、公開時にアクセス可能であることを確認済みです。本文中の引用番号からこちらにリンクしています。

1. 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.
2. Liu, Y., Luo, G., Ngo, H., Guo, W., & Zhang, S. (2019). Advances in thermostable laccase and its current application in lignin-first biorefinery: A review. *Bioresource Technology*, 122511 .
3. Aktas, N., & Tanyolaç, A. (2003). Reaction conditions for laccase catalyzed polymerization of catechol. *Bioresource Technology*, 87 3, 209-14 .
4. Chen, J., Hao, X., Chi, Y., & Ma, L. (2023). Metabolic regulation mechanism of *Trametes gibbosa* CB 1 on lignin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124189 .
5. Santoso, T., Ho, T., Vinothsankar, G., Jouppila, K., Chen, T., Owens, A., Lazarjani, M., ... et al. (2024). Effects of Laccase and Transglutaminase on the Physicochemical and Functional Properties of Hybrid Lupin and Whey Protein Powder. *Foods*, 13.
6. García-Fuentevilla, L., Domínguez, G., Martín-Sampedro, R., Hernández, M., Arias, M., Santos, J., Ibarra, D., ... et al. (2023). Enzyme-Catalyzed Polymerization of Kraft Lignin from *Eucalyptus globulus*: Comparison of Bacterial and Fungal Laccases Efficacy. *Polymers*, 15.
7. Martin, E., Agnihotri, S., Audonnet, F., Record, E., Dubessay, P., Taherzadeh, M., & Michaud, P. (2025). From Corncob By-Product to Functional Lignins: Comparative Analysis of Alkaline and Organosolv Extraction Followed by Laccase Treatment. *Biomolecules*, 15.
8. Jafari-Nodoushan, H., Fazeli, M., Faramarzi, M., & Samadi, N. (2023). Hierarchically-structured laccase@Ni₃(PO₄)₂ hybrid nanoflowers for antibiotic degradation: Application in real wastewater effluent and toxicity evaluation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 123574 .
9. Liu, J., Liu, F., Ding, C., Ma, F., Yu, H., Shi, Y., & Zhang, X. (2020). Response of *Trametes hirsuta* to hexavalent chromium promotes laccase-mediated decolorization of reactive black 5. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 205, 111134 .

10. Lin, Y., & Lloyd, P. (2006). An Enzyme Kinetics Experiment Using Laccase for General Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 83, 638-640.
11. Daronch, N. A., Kelbert, M., Pereira, C. S., Araújo, P. H., & Oliveira, D. (2020). Elucidating the choice for a precise matrix for laccase immobilization: A review. *Chemical Engineering Journal*, 397, 125506.
12. Rashid, S., Huan, H., Rahim, M., Sikder, M., & Sasi, A. (2019). Laccase Enzyme Immobilization on Ferromagnetic Support Material for Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB) Pretreatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 627.
13. Mohammadi, M., As'habi, M. A., Salehi, P., Yousefi, M., Nazari, M., & Brask, J. (2018). Immobilization of laccase on epoxy-functionalized silica and its application in biodegradation of phenolic compounds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 443-447 .
14. Sharma, S., & Murty, D. (2021). Enhancement of Laccase Production by Optimizing the Cultural Conditions for Pleurotus sajor-caju in Solid-State Fermentation. *Journal of Pure and Applied Microbiology*.
15. Arumugam, D. P., & Uthandi, S. (2024). Optimization and characterization of laccase (LccH) produced by Hexagonia hirta MSF2 in solid-state fermentation using coir pith wastes (CPW). *Journal of Environmental Management*, 356, 120625 .
16. Yıldırğan, S., Aygün, E., Altıntaş, R., & Şişecioğlu, M. (2026). Purification of laccase from thermophilic Bacillus licheniformis SO8 with three-phase partitioning, characterization, and usage in dye decolorization. *3 Biotech*, 16.
17. Atalah, J., & Blamey, J. (2022). Isolation and characterization of a novel laccase from an Antarctic thermophilic Geobacillus. *Antarctic Science*, 34, 289 - 297.
18. Adelpour, T., Mojtabavi, S., Mahmoudabadi-Arani, Z., Bozorgi-Koshalshahi, M., & Faramarzi, M. A. (2025). Green valorization of garlic peel waste using halophilic laccase for efficient biomass delignification and biorefinery applications. *Scientific Reports*, 15.
19. Effendi, A., Suhardi, S. H., Widi, Y. C. K. A. S., Hasan, K., Awfa, D., & Saputra, R. (2021). Optimization of Enzymatic Bioremediation of Oil Contaminated Soil by Laccase from Marasmiellus palmovorus using Response Surface Methodology. *Jurnal Presipitasi*.
20. LACCASE ENZYME: A Sustainable Catalyst For Bioremediation Strategies – Biosciences Biotechnology Research Asia. *Biotech-asia*.


Enzymes.bioへお問い合わせ


ご注文に関するご質問は、当社チームが喜んでサポートします。

メール wholesale@enzymes.bio

電話（米国） **+1 (507) 428-6057**

[お問い合わせ →](#)

 **400+** B2B顧客

 **60+** 大学研究パートナー

 **54** 世界各国に供給

© 2026 Enzymes.bio · 産業用 · 食品加工用酵素の供給 · 人の摂取用または小売販売用ではありません。