إنزيم Laccase لإزالة اللون والمعالجة الحيوية للمياه الصناعية: آلية العمل والتطبيقات العملية

فريق الأبحاث في Enzymes.bio · ويلينغتون، نيوزيلندا · June 21, 2026

الإجابة المباشرة: إنزيم **Laccase** هو أوكسيداز متعدد النحاس يؤكسد المركبات الفينولية وبعض المركبات العطرية مستخدمًا الأكسجين الجزيئي كمتقبّل نهائي للإلكترونات، مع تكوين الماء بدل الاعتماد على مؤكسدات كيميائية قاسية. لذلك يُستخدم في إزالة لون الأصباغ، معالجة مياه الصرف، إدارة البوليفينولات في الأغذية والمشروبات، وتعديل اللجنين والمواد النباتية ضمن عمليات صناعية أكثر اعتدالًا بيئيًا [1].

تورد **Enzymes.bio** إنزيم Laccase لعملاء الأعمال عبر الشراء المباشر من الموقع بوحدة **1 kg**، مع إرفاق وثائق **CoA** و **SDS** مع الطلب. Enzymes.bio جهة توريد عبر الإنترنت وليست جهة تصنيع أو مختبرًا، ويُفهم المنتج كمدخل إنزيمي للتطبيقات الصناعية والبحثية التطبيقية وفق متطلبات كل عملية .

ما هو إنزيم Laccase ولماذا يهم صناعيًا؟

ينتمي Laccase إلى عائلة **multicopper oxidases**، وهي إنزيمات تعتمد على مراكز نحاس نشطة لنقل الإلكترونات من الركيزة إلى الأكسجين. ما يجعل هذا الإنزيم مهمًا صناعيًا ليس مجرد قدرته على الأكسدة، بل اتساع نطاق الركائز التي يمكن أن يتعامل معها: فينولات، مشتقات اللجنين، بعض الأمينات العطرية، وعدد من المركبات الملونة أو الملوّثة التي تظهر في الصناعات الغذائية والنسيجية والورقية والبيئية [2].

تاريخيًا، ارتبطت اللاكيزات الفطرية بتحلل اللجنين في الخشب والمواد النباتية، خصوصًا لدى فطريات العفن الأبيض، لأن اللجنين شبكة عطرية معقدة تحتاج إلى تفاعلات أكسدة جذرية حتى تتغير بنيتها. هذا الارتباط الطبيعي يفسر انتقال الاهتمام بالإنزيم إلى صناعات اللب والورق، معالجة الكتلة الحيوية، وتعديل المواد الليغنوسليلوزية، حيث تكون المشكلة العملية غالبًا هي التعامل مع بوليمرات عطرية صعبة التحلل [1].

في السنوات الأخيرة، اتسع الاهتمام أيضًا باللاكيزات البكتيرية وبإنزيمات **laccase-like multicopper oxidases**، لأن بعض هذه الإنزيمات قد تكون أكثر ملاءمة لبيئات صناعية قاسية أو لمياه صرف معقدة. البحث الحاسوبي والتحليل الميتاجينومي لمياه الصرف الصناعية أصبحا من الأدوات المستخدمة لاكتشاف لاكيزات أو أوكسيدازات متعددة النحاس جديدة، بما يعكس أهمية هذا الإنزيم في حلول المعالجة الحيوية الحديثة [3].

آلية عمل Laccase: أكسدة موجّهة بالأكسجين

تقوم آلية Laccase على سحب إلكترون من ركيزة قابلة للأكسدة، مثل مركب فينولي أو أمين عطري، ثم تمرير الإلكترونات داخل بنية الإنزيم عبر مراكز النحاس حتى تصل إلى الأكسجين الجزيئي. النتيجة المباشرة هي تكوين جذور تفاعلية من الركائز، بينما يُختزل الأكسجين إلى ماء، وهي نقطة مهمة لأنها تجعل التفاعل مختلفًا عن أنظمة أكسدة أخرى تعتمد على بيروكسيدات أو مؤكسدات كيميائية أقسى [4].

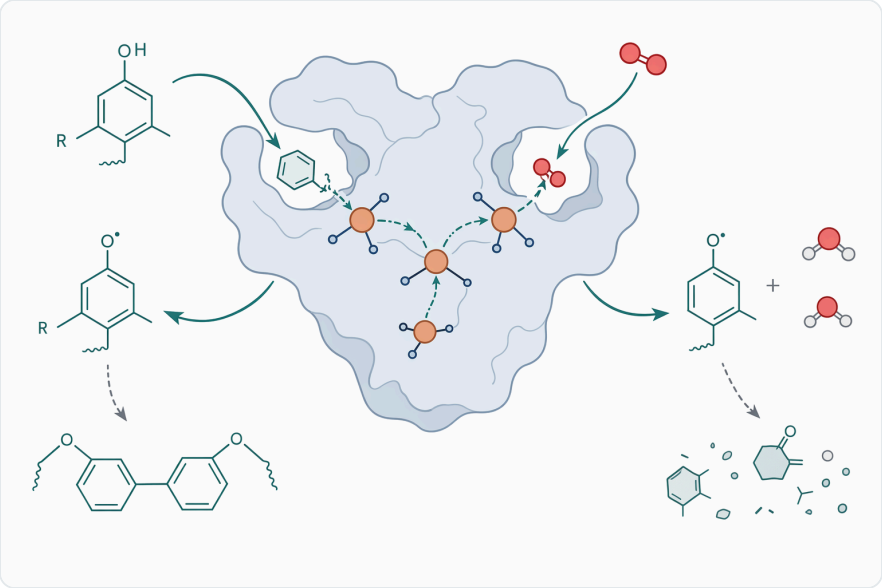

Figure 1. 라카아제는 페놀성 기질을 1전자 산화시키는 동시에 산소를 물로 .환원합니다

عند أكسدة الفينولات، لا يكون الناتج دائمًا "تكسيرًا كاملًا" للجزيء الأصلي؛ فقد تتكوّن جذور فينوكسي تدخل في اقتران، بلمرة، إعادة ترتيب، أو تكوين نواتج أقل ذوبانًا. لذلك يمكن أن يؤدي Laccase في بعض المصفوفات إلى ترسيب مركبات فينولية أو تقليل قابليتها لإحداث العكارة، بينما قد يؤدي في مصفوفات أخرى إلى إزالة لون الصبغة أو تحويل الملوث إلى شكل أكثر قابلية للمعالجة اللاحقة [5].

تتضح أهمية هذه الآلية في نظام **laccase–mediator**، حيث يُستخدم وسيط أكسدة صغير لنقل القدرة التأكسدية إلى ركائز لا يستطيع الإنزيم الوصول إليها أو أكسدتها بسهولة مباشرة. هذا المفهوم مفيد خصوصًا مع المركبات غير الفينولية أو الصبغات المستقرة أو مكونات اللجنين الأكثر مقاومة، لكنه يحتاج إلى تقييم تطبيقي لأن الوسيط نفسه قد يضيف كلفة أو اعتبارات تنظيمية أو أثرًا على جودة المنتج النهائي [6].

لماذا يعد Laccase محفزًا حيويًا "أخضر" نسبيًا؟

تصف المراجعات الحديثة Laccase بأنه محفز حيوي صديق نسبيًا للبيئة لأنه يستخدم الأكسجين المتاح في الوسط وينتج الماء كنتيجة اختزال، بدل الاعتماد المستمر على كواشف أكسدة كيميائية شديدة. هذه الخاصية لا تعني أن كل تطبيق للاكيز مستدام تلقائيًا، لكنها تمنح المصنعين أداة يمكن دمجها في عمليات تهدف إلى خفض الشدة الكيميائية أو تقليل الحمل البيئي [5].

الميزة الثانية هي العمل في ظروف معالجة ألطف مقارنةً بكثير من العمليات الكيميائية التقليدية. فالإنزيمات عمومًا تعمل ضمن نوافذ تشغيل محددة، لكنها قد تسمح بتفاعلات انتقائية في مصفوفات حساسة مثل الأغذية أو المشروبات أو الألياف الطبيعية، حيث قد تكون المؤكسدات القوية غير مناسبة بسبب تأثيرها على اللون أو النكهة أو الخواص الميكانيكية [1].

مع ذلك، من الأدق وصف Laccase بأنه "أداة أكسدة حيوية" لا "حل شامل". فالنتيجة تعتمد على نوع الركيزة، توفر الأكسجين، وجود مثبطات، بنية المصفوفة، وما إذا كان المطلوب هو إزالة لون، ترسيب فينولات، تعديل قوام، أو تفكيك ملوث. لذلك يجب قراءة الأدبيات العلمية على أنها دليل على الإمكانات والآليات، لا ضمانًا لأداء موحد في كل نظام صناعي [2].

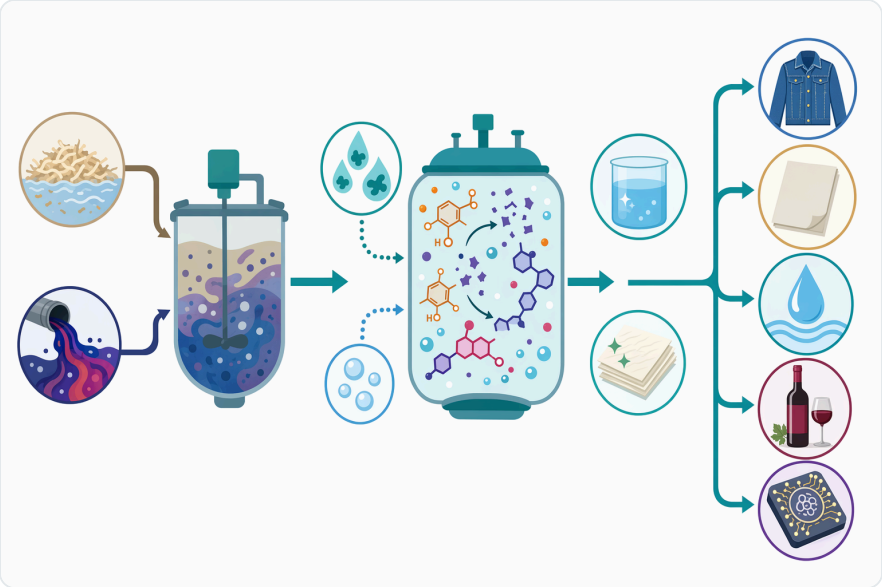

Figure 2. 산업용 라카아제 공정은 산소 기반 산화를 이용해 리그닌, 염료, 페놀류 및 기타 방향족 화합물을 변형합니다.

التطبيقات الصناعية الرئيسية لإنزيم Laccase

إزالة لون الأصباغ ومعالجة مياه الصرف النسيجية

يُعد مجال إزالة اللون من أكثر تطبيقات Laccase دراسةً، خصوصًا مع الأصباغ الآزوية والصناعية التي تظهر في مياه الصرف النسيجية. تعمل الأكسدة الإنزيمية على تغيير البنية الإلكترونية للصبغة أو تفكيك الكروموفورات المسؤولة عن اللون، وقد ينتج عن ذلك انخفاض واضح في شدة اللون أو تكوين نواتج قابلة للمعالجة اللاحقة [6].

أظهرت دراسات حديثة استخدام لاكيزات من عزلات فطرية أو بكتيرية في إزالة لون أصباغ صناعية مختارة، بما في ذلك أنظمة قريبة من تطبيقات معالجة المياه. وتؤكد هذه الدراسات أن الأداء يتغير باختلاف نوع الصبغة وتركيب الوسط، لأن الأصباغ ليست فئة كيميائية واحدة؛ فبعضها أسهل أكسدة، وبعضها يحتاج وسيطًا، وبعضها يتأثر بوجود الأملاح أو المواد المساعدة في حمامات الصباغة [7].

في سياق المياه الصناعية الحقيقية، يجب عدم مساواة نجاح إزالة اللون في محلول مبسط بنجاح كامل في مياه صرف معقدة. مياه الصباغة قد تحتوي على مزيج من الأصباغ، أملاح، مواد تثبيت، مواد خافضة للتوتر السطحي، ومركبات عضوية قد تنافس الركائز أو تثبط الإنزيم. لذلك تكون القيمة العملية للاكيز أكبر عندما يُنظر إليه كجزء من سلسلة معالجة تشمل أكسدة حيوية، امتزازًا، ترشيحًا، أو معالجة لاحقة حسب نوع المياه [8].

معالجة الفينولات والمركبات العطرية في المخلفات

يستهدف Laccase المركبات الفينولية بطبيعتها، ولهذا يظهر في أبحاث معالجة المخلفات الغنية بالفينولات أو المشتقات العطرية. عند أكسدة هذه المركبات، قد تتكوّن جذور تتحد لتشكيل بوليمرات أقل ذوبانًا أو تتحول إلى نواتج أقل نشاطًا، ما يسمح بخفض العبء السمي أو تسهيل فصلها من الوسط [2].

هذا الدور مهم في قطاعات مثل الصناعات الغذائية، الورق، النسيج، والعمليات التي تطلق مركبات عطرية في مياه الصرف. لكن يجب الانتباه إلى أن "إزالة الملوث" قد تعني عدة أشياء مختلفة: فقد يكون المقصود خفض اللون، تقليل التركيز القابل للذوبان، تغيير السمية، أو تحويل المركب إلى ناتج آخر. لذلك تتطلب التطبيقات البيئية تقييمًا لنواتج التحول وليس فقط اختفاء اللون أو تغير الرائحة [4].

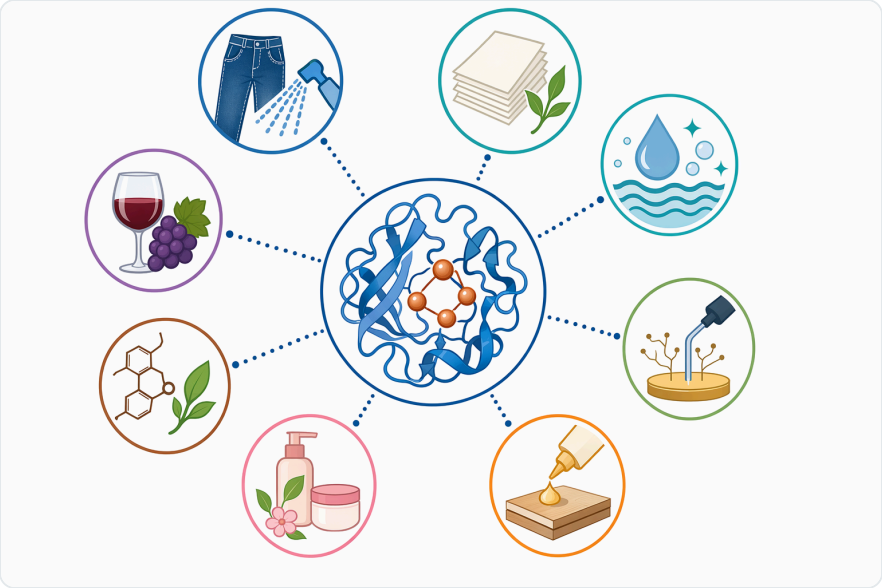

Figure 3. 라카아제는 섬유, 펄프 및 제지, 환경 처리, 식음료 가공, 바이오 기 .반 소재 등 다양한 분야에서 사용됩니다

الأغذية والمشروبات: إدارة البوليفينولات والاستقرار

في الأغذية والمشروبات، يرتبط Laccase بإدارة البوليفينولات التي تؤثر في اللون، العكارة، الاستقرار، أو خصائص المعالجة. في عصائر الفاكهة والمشروبات النباتية، يمكن لأكسدة الفينولات أن تغيّر قابلية بعض المركبات للتفاعل أو الترسيب، ما يدعم عمليات التوضيح أو تقليل العكارة عندما تكون العملية مصممة بعناية [5].

في المصفوفات الغذائية، لا يكون الهدف دائمًا إزالة الفينولات بالكامل؛ فالفينولات قد تكون مرغوبة لنكهتها أو لونها أو قيمتها الحسية. لذلك يجب أن يكون استخدام اللاكيز موجّهًا: هل المطلوب تقليل عكارة؟ ضبط اسمرار؟ تحسين ترشيح؟ تعديل مركبات قابضة؟ الإجابة تختلف بين العصائر، النبيذ، الشاي، والمكونات النباتية المعالجة [5].

كما دُرس Laccase في تطبيقات الخَبز وتعديل العجين، حيث يمكن للأكسدة أن تؤثر في شبكات بروتينية وفينولية داخل النظام الغذائي. الأثر العملي قد يظهر في قوام العجين أو بنية المنتج النهائي، لكنه يعتمد على نوع الدقيق، وجود الألياف أو المكونات النباتية، تركيبة الوصفة، ومرحلة إضافة الإنزيم [1].

اللب والورق والكتلة الحيوية

يبرز Laccase في صناعات اللب والورق بسبب علاقته الطبيعية باللجنين. فاللجنين بوليمر عطري معقد يعيق الوصول إلى السليلوز والهيميسليلوز، كما يؤثر في لون اللب وخصائص الألياف. من خلال أكسدة وحدات اللجنين أو تعديلها، يمكن للاكيز أن يدعم عمليات الدلجنة أو التبييض أو تحسين قابلية الألياف للمعالجة [2].

في معالجة الكتلة الحيوية، يمكن أن يُستخدم Laccase لتعديل سطح الألياف أو إعادة تشكيل التفاعلات بين اللجنين والمكونات الأخرى. هذا مهم في التطبيقات التي تهدف إلى إنتاج مواد حيوية، ألياف محسّنة، أو تحضير مواد نباتية لعمليات لاحقة. غير أن نجاح التطبيق يتأثر بإتاحة اللجنين داخل البنية الصلبة، وبمدى قدرة الإنزيم أو الوسيط على الوصول إلى المواقع المستهدفة [4].

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

المستشعرات الحيوية والتطبيقات التحليلية غير المباشرة

لأن Laccase يتفاعل مع الفينولات والأمينات العطرية، فقد استُخدم في تطوير مستشعرات حيوية للكشف عن مركبات بيئية أو غذائية. في هذه التطبيقات، لا يكون دور الإنزيم معالجة كمية كبيرة من مادة، بل تحويل وجود مركب معين إلى إشارة قابلة للقراءة عبر نظام كهروكيميائي أو لوني أو مادي [5].

هذه التطبيقات مهمة بحثيًا وصناعيًا في مراقبة الجودة، لكنها تختلف عن بيع الإنزيم كمكوّن معالجة مباشر. فالمستشعر الحيوي يتطلب تثبيت الإنزيم على سطح مناسب، تكاملًا مع جهاز أو ركيزة، وضبطًا هندسيًا للإشارة. لذلك تُذكر هنا لإظهار اتساع مجال Laccase، لا كبديل عن أنظمة التحليل المعتمدة لدى المستخدمين [9].

مقارنة تطبيقات Laccase حسب القطاع

القطاع	المشكلة العملية	دور Laccase	الفائدة المحتملة	أهم القيود العملية
النسيج ومياه الصباغة	لون ثابت وصبغات مقاومة	أكسدة الكروموفورات أو دعم نظام وسيط	خفض اللون وتخفيف الحمل الكيميائي	اختلاف النتائج حسب الصبغة والأملاح والمواد المساعدة [6]
الأغذية والمشروبات	عكارة أو عدم استقرار مرتبط بالبوليفينولات	أكسدة الفينولات وتغيير تفاعليتها	تحسين التوضيح أو الاستقرار في بعض المصفوفات	خطر التأثير على اللون أو النكهة إذا لم تُضبط العملية [5]
اللب والورق	لجنين يعيق التبييض أو تعديل الألياف	أكسدة وحدات اللجنين ومشتقاته	دعم الدلجنة أو تحسين خصائص الألياف	وصول الإنزيم إلى اللجنين داخل المادة الصلبة محدود أحيانًا [2]
معالجة مياه الصرف	فينولات وملوثات عطرية	تحويل حيوي أو بلمرة أو تسهيل فصل	معالجة ألطف بيئيًا وإمكانية الدمج مع خطوات أخرى	ضرورة تقييم نواتج التحول والسمية المتبقية [4]
الأنظمة المثبتة	فقد النشاط أو صعوبة إعادة الاستخدام	تثبيت الإنزيم على حامل صلب	تحسين الثبات وإمكانية الاستخدام المتكرر	قد يحد الحامل من انتقال الركائز أو يزيد التعقيد [9]

Laccase الحر مقابل Laccase المثبت

يمكن استخدام Laccase في صورة حرة داخل الوسط، وهي الصورة الأبسط من ناحية الخلط والاتصال بالركائز. هذه الصيغة مفيدة عندما تكون المعالجة دفعة واحدة، أو عندما تكون كلفة فصل الإنزيم غير مبررة، أو عندما يكون الهدف تعديلًا سريعًا داخل مصفوفة سائلة أو شبه سائلة [8].

أما التثبيت على حوامل صلبة فيهدف إلى تحسين الثبات، تقليل فقد الإنزيم، وإتاحة إعادة الاستخدام أو الفصل الأسهل من الوسط. دُرس تثبيت اللاكيز على حوامل مختلفة، بما في ذلك مواد بوليمرية وحوامل متقدمة مثل الأطر المعدنية العضوية، لأن هذه الحوامل قد تجمع بين امتزاز الملوث وتقريب الركيزة من الإنزيم [9].

لكن التثبيت ليس دائمًا أفضل بصورة مطلقة. فقد يقلل الحامل من حركة الإنزيم أو يحد وصول الركائز الكبيرة إلى الموقع النشط، كما قد تتأثر الكفاءة إذا تكدست الجزيئات على السطح أو تغيرت البيئة الدقيقة حول الإنزيم. لذلك تكون صيغة الاستخدام مرتبطة بطبيعة العملية: معالجة مياه قابلة للتدوير، مفاعل ثابت، نظام أغذية حساس، أو خطوة معالجة لمرة واحدة [9].

العوامل التي تتحكم في أداء Laccase

نوع الركيزة وبنيتها الكيميائية

أهم عامل هو نوع الركيزة. المركبات الفينولية عمومًا أقرب إلى نطاق عمل Laccase المباشر، بينما قد تحتاج المركبات غير الفينولية أو ذات البنية المستقرة إلى وسيط أكسدة أو زمن معالجة أطول أو دمج مع تقنية أخرى. لذلك لا يصح افتراض أن كل صبغة أو ملوث عطري سيستجيب بالطريقة نفسها [6].

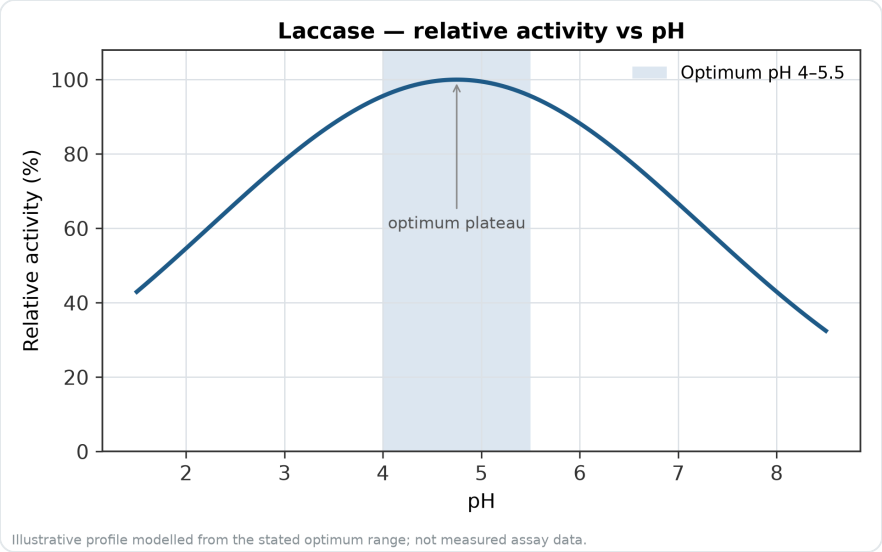

Figure 5. pH에 따른 라카아제의 상대 활성으로, pH 4–5.5에서 최적 활성 구간이 나타납니다.

تؤثر البنية الإلكترونية للركيزة في سهولة نزع الإلكترون منها. المركبات التي تسمح بتكوين جذور مستقرة نسبيًا قد تتأكسد بسهولة أكبر، بينما تكون مركبات أخرى أقل قابلية للتحول. وهذا يفسر لماذا تعطي الدراسات نتائج مختلفة حتى داخل فئة واحدة مثل الأصباغ الآزوية أو الفينولات الصناعية [7].

الأكسجين وانتقال الكتلة

بما أن الأكسجين هو المتقبل النهائي للإلكترونات، فإن توفره في الوسط يؤثر في استمرار التفاعل. في الأنظمة المخففة قد لا يظهر هذا العامل بوضوح، لكنه يصبح مهمًا في السوائل اللزجة، المعلقات عالية الحمل، العجين، أو مياه الصرف الغنية بالمواد العضوية، حيث قد يحد انتقال الأكسجين من سرعة الأكسدة [4].

كما أن انتقال الركيزة إلى الموقع النشط لا يقل أهمية عن توفر الأكسجين. في المواد الصلبة أو الألياف أو الجزيئات الكبيرة، قد يكون الوصول الفيزيائي هو العامل المحدد، وليس نشاط الإنزيم نفسه. لذلك تظهر الحاجة إلى خلط مناسب أو معالجة مسبقة أو استخدام وسطاء في بعض تطبيقات الكتلة الحيوية واللب [2].

المصفوفة والمواد المتداخلة

المصفوفة الصناعية ليست محلولًا نقيًا. في العصائر توجد سكريات، أحماض عضوية، بروتينات، بوليفينولات متعددة، ومعادن أثرية. في مياه الصرف توجد أملاح، أصباغ متعددة، مواد سطحية، ومنتجات معالجة كيميائية. هذه المكونات قد تنافس الركائز، تعيق انتقال الأكسجين، ترتبط بالإنزيم، أو تغيّر مسار الجذور المتكوّنة [5].

لذلك فإن توصيف Laccase بأنه "يزيل اللون" أو "يؤكسد الفينولات" يجب أن يُفهم ضمن سياق المصفوفة. قد تنجح الأكسدة في خفض اللون لكنها تزيد تكوين رواسب؛ وقد تقل العكارة في نظام وتزداد في آخر إذا تكوّنت بوليمرات معلقة. هذه ليست عيوبًا في الإنزيم بقدر ما هي نتيجة لطبيعة الكيمياء الجذرية في مصفوفات معقدة [6].

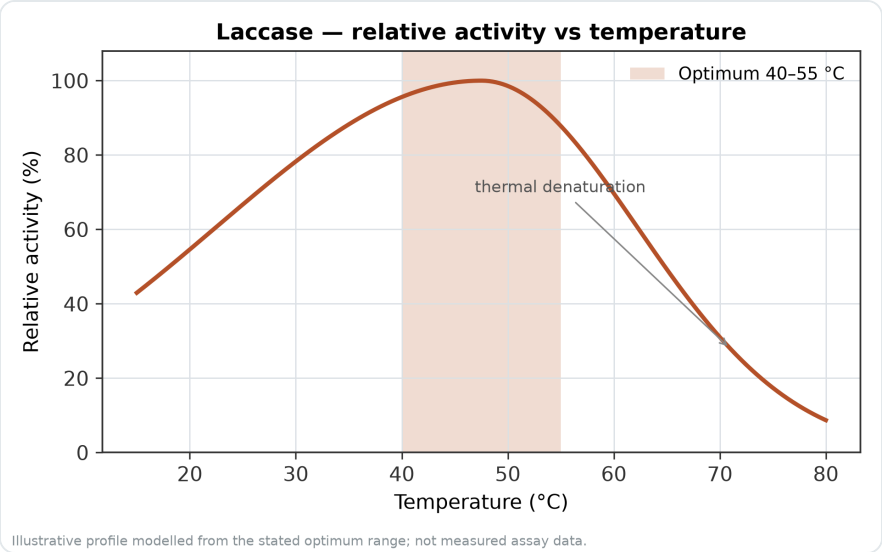

Figure 6. 온도에 따른 라카아제의 상대 활성으로, 40–55°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열 변성에 따른 특징적인 활성 감소가 나타납니다.

مصدر الإنزيم واستقراره

تختلف خصائص Laccase باختلاف المصدر الحيوي، سواء كان فطريًا أو بكتيريًا أو منتجًا عبر تعبير غير متماثل. تركز مراجعات الإنتاج الحديثة على استراتيجيات تحسين الإنتاج، التعبير غير المتماثل، والهندسة الحيوية لأن التطبيقات الصناعية تحتاج إلى توازن بين الأداء، الثبات، والتكلفة التشغيلية [4].

تُظهر بعض الدراسات الحديثة لاكيزات ذات ثبات محسّن في ظروف تشغيل متنوعة، بما في ذلك إنزيمات من أجناس بكتيرية دُرست لمعالجة الأصباغ. لكن من المهم عدم تعميم خصائص إنزيم واحد على جميع منتجات Laccase؛ فالثبات ونطاق العمل يتغيران حسب البنية البروتينية والتحضير التجاري والمصفوفة المستخدمة [10].

قوة الأدلة العلمية حول Laccase

توجد أدلة قوية على آلية Laccase العامة وعلى كونه أوكسيدازًا متعدد النحاس واسع الركائز. كما توجد مراجعات متعددة تربط هذا الإنزيم بتطبيقات الأغذية، النسيج، اللب والورق، المعالجة الحيوية، والمستشعرات، ما يجعل الأساس العلمي لاستخدامه الصناعي راسخًا من حيث المبدأ [1].

الأدلة قوية إلى متوسطة في إزالة لون الأصباغ، لأن المجال يحتوي على مراجعات حديثة ودراسات تطبيقية عديدة. غير أن جزءًا كبيرًا من النتائج يأتي من أنظمة مخبرية أو مياه محاكاة، بينما تتطلب المياه الصناعية الواقعية تحققًا إضافيًا بسبب تعقيد المصفوفة. لذلك يُعد Laccase خيارًا واعدًا لإزالة اللون، مع ضرورة ربط التوقعات بتركيب المياه الفعلي [6].

في الأغذية والمشروبات، الأدلة تدعم دور Laccase في أكسدة البوليفينولات وتعديل خصائص مصفوفات معينة، لكن التأثير الحسي والتنظيمي يظل مهمًا. فالمركبات الفينولية ليست دائمًا ملوّثات؛ قد تكون مكونات مرغوبة. لذلك يحتاج التطبيق الغذائي إلى موازنة بين التوضيح أو الاستقرار وبين الحفاظ على النكهة واللون والهوية الحسية للمنتج [5].

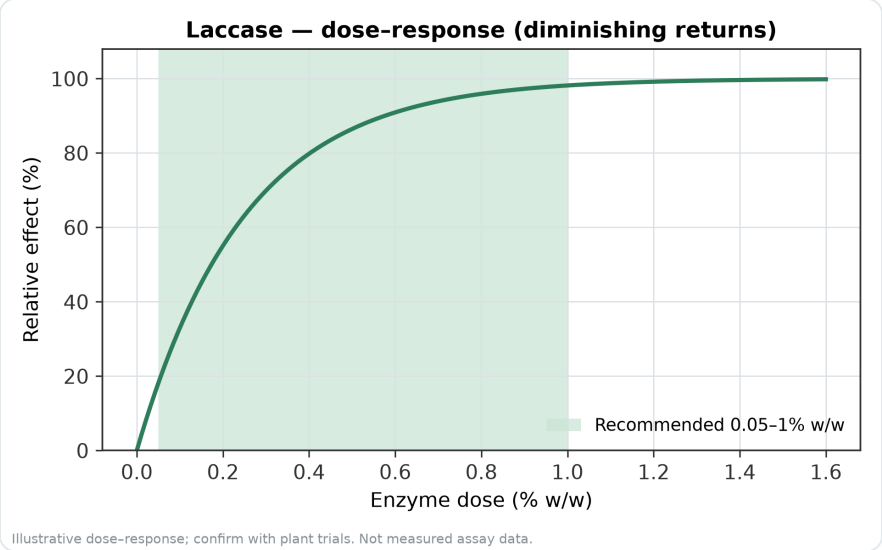

Figure 7. 권장 사용 범위(0.05–1% w/w)에서의 라카아제 용량-반응 예시입니다.

أما في التطبيقات الناشئة مثل ملوثات دقيقة محددة أو أنظمة تثبيت متقدمة أو استخدام الأطر المعدنية العضوية، فالأدلة تتوسع بسرعة لكنها لا تعني بالضرورة جاهزية كل نظام للتطبيق التجاري المباشر. هذه الأبحاث مهمة لأنها تُظهر اتجاهات تحسين الثبات والكفاءة، لكنها تتطلب تقييمًا هندسيًا واقتصاديًا قبل اعتمادها في تشغيل مستمر [9].

حدود الاستخدام والمخاطر الفنية

أول حدود Laccase أن الأكسدة لا تعني دائمًا إزالة كاملة أو إزالة سمية كاملة. قد يتحول المركب إلى ناتج آخر، وقد تكون بعض النواتج أكثر أو أقل قابلية للتحلل أو الفصل. لذلك في المعالجة البيئية، لا يكفي تتبع تغير اللون وحده؛ يجب فهم مسار التحول بما يتوافق مع نظام إدارة الجودة والبيئة لدى المستخدم [4].

الحد الثاني هو احتمال الحاجة إلى وسيط. الوسيط قد يوسع نطاق الركائز ويزيد فعالية الأكسدة، لكنه قد يضيف تعقيدًا في الكلفة، السلامة، الامتثال، والتأثير على المنتج النهائي. في الأغذية مثلًا، لا يمكن التعامل مع الوسطاء كما يُتعامل معهم في مياه صرف صناعية، لأن متطلبات القبول التنظيمي والحسي مختلفة جذريًا [6].

الحد الثالث هو حساسية الإنزيم للمصفوفة. مثل معظم البروتينات، قد يتأثر Laccase بالظروف الكيميائية والفيزيائية للوسط، وبوجود مركبات قد ترتبط بالموقع النشط أو تغيّر بنية البروتين. ولهذا تتجه الأبحاث إلى تحسين الإنتاج، تعديل البنية، والتثبيت على حوامل لزيادة القدرة على تحمل ظروف الاستخدام [4].

كيف يناسب Laccase من Enzymes.bio استخدامات B2B؟

تتوفر فئة Laccase عبر Enzymes.bio لعملاء الأعمال الذين يحتاجون إلى مدخل إنزيمي للتطبيقات الصناعية أو التطويرية، مع إمكانية الشراء المباشر عبر الإنترنت بوحدة **1 kg**. يهم هنا التأكيد أن Enzymes.bio جهة توريد وليست جهة تصنيع أو مختبر اختبار؛ لذلك تُستخدم وثائق المنتج المرفقة لدعم فرق الجودة والسلامة، بينما تبقى ملاءمة التطبيق مرتبطة بعملية العميل ومصفوفته .

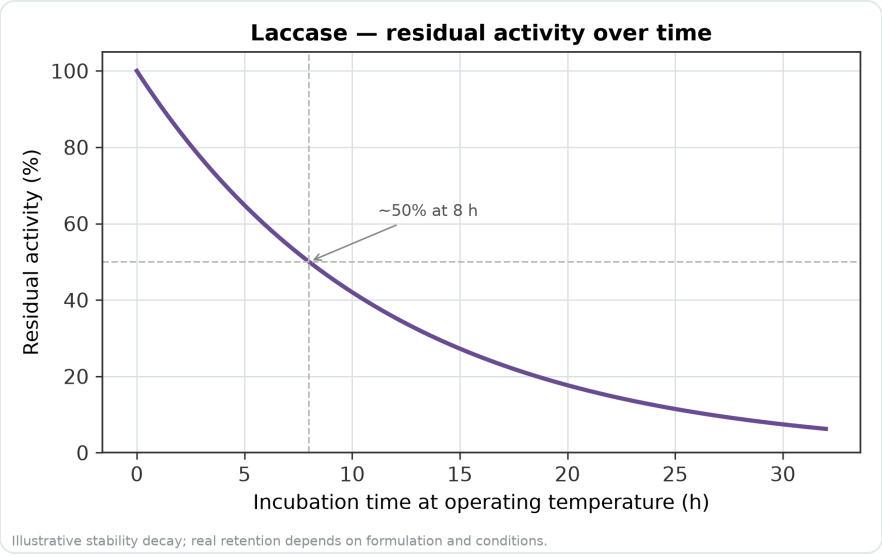

Figure 8. 라카아제의 열 안정성 감소 예시 — 작동 온도에서 시간이 지남에 .따라 잔존 활성이 감소합니다

تُرفق وثائق **Certificate of Analysis** و **Safety Data Sheet** مع الطلب، وهما وثيقتان تساعدان في التعرف إلى هوية المنتج وإرشادات التعامل والسلامة. لا تغني هذه الوثائق عن متطلبات الامتثال الداخلية أو تقييمات السلامة الخاصة بكل منشأة، لكنها توفر أساسًا تشغيليًا مناسبًا لإدخال المنتج ضمن نظام إدارة المواد لدى المستخدم .

بالنسبة للتطبيقات B2B، تكون أفضل طريقة لفهم قيمة Laccase هي ربطه بالمشكلة الكيميائية المحددة: هل توجد فينولات تسبب عكارة؟ هل توجد صبغات تحتاج إزالة لون؟ هل يحتاج اللجنين إلى تعديل؟ هل المطلوب أكسدة ألطف بدل مؤكسدات كيميائية؟ عندما تكون الإجابة مرتبطة بأكسدة فينولية أو عطرية، يصبح Laccase مرشحًا منطقيًا ضمن خيارات المعالجة الحيوية [2].

خلاصة تقنية

إنزيم **Laccase** محفز حيوي متعدد النحاس يربط بين ثلاث مزايا صناعية: أكسدة الفينولات والمركبات العطرية، استخدام الأكسجين كمؤكسد نهائي، وإمكانية الدمج في قطاعات متعددة مثل النسيج، المياه، الأغذية، المشروبات، واللب والورق. قوته الأساسية هي تحويل كيمياء الأكسدة إلى خطوة إنزيمية أكثر انتقائية واعتدالًا، لكن نجاحه يعتمد على المصفوفة ونوع الركيزة وتوفر الأكسجين واحتمال الحاجة إلى وسيط [1].

في إزالة اللون والمعالجة الحيوية، يقدم Laccase إمكانات واضحة، خاصةً عندما تكون المشكلة مرتبطة بالأصباغ أو الفينولات أو اللجنين. ومع ذلك، يجب التعامل معه كأداة ضمن تصميم عملية متكامل، لا كحل مستقل لكل ملوث أو كل مصفوفة. وتوفر Enzymes.bio المنتج عبر الشراء المباشر بوحدة **1 kg** مع إرفاق **CoA** و **SDS**، ليكون مدخلًا إنزيميًا مناسبًا للاستخدامات الصناعية والتطبيقية التي تتطلب محفز أكسدة حيويًا موثوقًا .

اطلب Laccase عبر الإنترنت

يُباع بوحدة 1 kg، وهو متوفر في المخزون وجاهز للشحن. اطلب مباشرة من متجرنا — ادفع عبر الإنترنت وسنعالج طلبك. تُرفق شهادة التحليل ونشرة بيانات السلامة مع كل طلب.

اشترِ Laccase →

المراجع

مرقّمة حسب ترتيب أول اقتباس. مصادر مفتوحة الوصول، تم التحقق من إتاحتها عند النشر؛ وترتبط أرقام الاستشهاد في النص هنا.

1. Senthivelan, T., Kanagaraj, J., & Panda, R. C. (2016). Recent trends in fungal laccase for various industrial applications: An eco-friendly approach - A review. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 21, 19-38.
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. Cui, T., Kushmaro, A., Barak, H., Poehlein, A., Daniel, R., & Mägert, H. (2025). Enhanced discovery of bacterial laccase-like multicopper oxidase through computer simulation and metagenomic analysis of industrial wastewater. *FEBS Open Bio*, 15, 1090 - 1102.
4. Sodhi, A. S., Bhatia, S., & Batra, N. (2024). Laccase: Sustainable production strategies, heterologous expression and potential biotechnological applications.. *International Journal of Biological Macromolecules*,

. 135745

5. Zhai, T., Wang, H., Dong, X., Wang, S., Xin, X., Du, J., Guan, Q., ... et al. (2024). Laccase: A Green Biocatalyst Offers Immense Potential for Food Industrial and Biotechnological Applications.. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.

6. Rajendran, S., Kalairaj, A., & Senthilvelan, T. (2024). A comprehensive review on enzymatic decolorization of various azo dyes using laccase for the abatement of industrial pollution. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15, 13079 - 13101.

7. Maniyam, M. N., Gunalan, P., Azman, H. H., Abdullah, H., & Yaacob, N. (2024). Decolorization of selected industrial synthetic dyes using laccase from an indigenous isolate strain SK1. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*.

8. Bebić, J., Banjanac, K., Ćorović, M., Milivojević, A., Simović, M., Vukoičić, A., Mitrović, D., ... et al. (2020). Immobilization of laccase from Trametes versicolor on Lifetechtm supports for applications in degradation of industrial dyes. *Chemistry and industry*.

9. Ren, S., Wang, F., Gao, H., Han, X., Zhang, T., Yuan, Y., & Zhou, Z. (2023). Recent Progress and Future Prospects of Laccase Immobilization on MOF Supports for Industrial Applications. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 196, 1669-1684.

10. Jeyabalan, J., Veluchamy, A., & Narayanasamy, S. (2025). Production optimization, characterization, and application of a novel thermo- and pH-stable laccase from Bacillus drentensis 2E for bioremediation of industrial dyes.. *International Journal of Biological Macromolecules*, 142557 .

تواصل مع Enzymes.bio

هل لديك أسئلة حول طلب؟ يسرّ فريقنا مساعدتك.

البريد الإلكتروني **wholesale@enzymes.bio** الهاتف (الولايات المتحدة) **+1 (507) 428-6057**

تواصل معنا →

+400 عملاء B2B **+60** شركاء بحثيون جامعيون **54** نخدم العملاء حول العالم

© 2026 Enzymes.bio · توريد إنزيمات صناعية & لمعالجة الأغذية · غير مخصص للاستهلاك البشري أو البيع بالتجزئة.