إنزيم Beta-Glucosidase لتحسين تحلل السليلوز وتحرير الغلوكوز من الكتلة الحيوية

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

Beta-Glucosidase هو إنزيم يحفّز كسر الروابط β-غليكوسيدية في مركبات تحمل غلوكوزًا طرفيًا، لذلك يُستخدم مهنيًا في تحويل السيليوبيوز والغليكوسيدات النباتية إلى غلوكوز أو أغليكونات أكثر توافرًا. أهم تطبيق صناعي له هو إكمال منظومة السليولاز في تحلل السليلوز والكتلة الحيوية، حيث يساعد على تقليل تراكم السيليوبيوز ودعم إنتاج سكريات قابلة للتخمير [1].

ما هو إنزيم Beta-Glucosidase؟

إنزيم **beta-glucosidase**، أو بيتا-غلوكوسيداز، ينتمي وظيفيًا إلى إنزيمات الغليكوسيداز التي تفك الروابط بين وحدة غلوكوز ومكوّن آخر عندما تكون الرابطة من النمط بيتا. الركيزة قد تكون ثنائي سكر مثل السيليوبيوز، أو غليكوسيدًا نباتيًا يحتوي على جزء سكري وجزء غير سكري، أو سكريات قليلة التعدد ناتجة من تكسير السليلوز. القيمة العملية للإنزيم لا تأتي من "إنتاج الغلوكوز" فقط، بل من كونه ينهي خطوة حاسمة في سلاسل تحويل أوسع: تفكيك السليلوز، تحرير مركبات عطرية، تعديل غليكوسيدات نباتية، أو دعم عمليات تخمير تعتمد على توفر السكر أو الأغليكون [1].

تختلف β-glucosidases اختلافًا كبيرًا حسب المصدر الحيوي والبنية الجزيئية. بعض الإنزيمات موصوفة ضمن عائلة الغليكوزيد هيدرولاز GH3، وقد أظهرت الدراسات على إنزيمين من هذه العائلة أن تحسين التعبير وفهم الخصائص الكيميائية الحيوية ضروريان لتقدير ملاءمتهما للتطبيقات الصناعية [2]. كما أن استنساخ وتوصيف BglC من الكائن السليلوليتي *Thermobifida fusca* يوضح ارتباط هذا النوع من الإنزيمات بالأنظمة الطبيعية القادرة على تفكيك السليلوز، وهي نقطة مهمة عند التفكير في تطبيقات الكتلة الحيوية لا في التفاعلات النموذجية البسيطة فقط [3].

ينبغي التمييز بين **Beta-Glucosidase** و**beta-glucan**. الأول إنزيم بروتيني يحفّز تفاعل تحلل مائي لرابطة غليكوسيدية، أما الثاني فهو عديد سكاريد أو ألياف موجودة في مصادر نباتية وفطرية وخمائرية. الخلط بين المصطلحين قد يؤدي إلى توقعات غير صحيحة: beta-glucosidase يُستخدم كعامل معالجة حيوية، بينما beta-glucan مادة غذائية/وظيفية مختلفة كليًا في التركيب والدور.

كيف يعمل بيتا-غلوكوسيداز على المستوى الجزيئي؟

في التفاعل الأساسي، يتعرف الإنزيم إلى جزء الغلوكوز في الركيزة ويثبتها داخل جيب نشط يحتوي على أحماض أمينية مرتبة بطريقة تسمح بإضعاف الرابطة β-غليكوسيدية. في كثير من β-glucosidases، تشارك بقايا حمضية داخل الموقع النشط في نقل البروتونات وتسهيل هجوم الماء أو تكوين وسيط تفاعلي قصير العمر، لينتهي التفاعل بتحرير الغلوكوز والجزء الآخر من الجزيء. لذلك لا تكفي معرفة أن الركيزة "تحتوي غلوكوزًا"؛ فشكل الجزء غير السكري وحجمه وقطبيته يؤثر في مدى ملاءمته لجيب الارتباط [4].

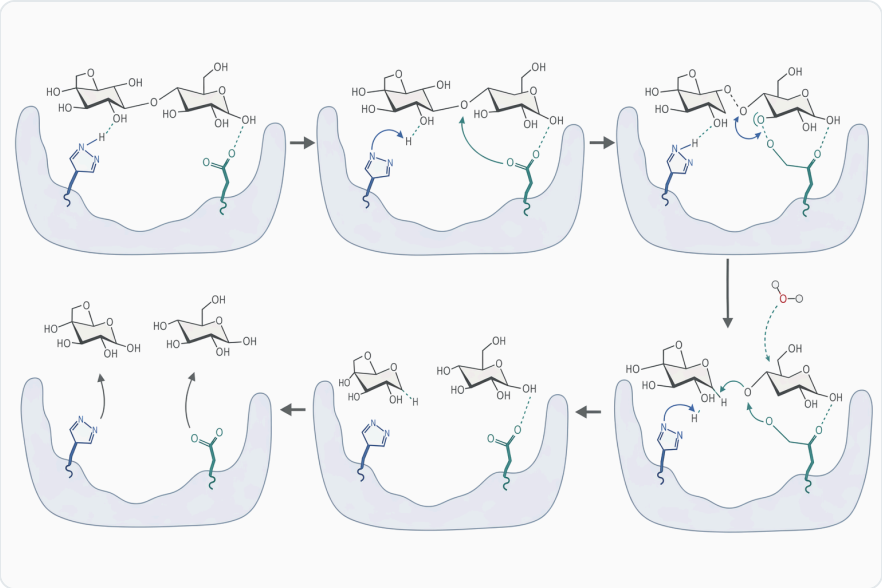

Figure 1. 베타-글루코시다아제는 말단 베타-글루코시드 결합을 가수분해하여 포도당을 방출하고, 바이오매스 당화 과정에서 셀로비오스에 의한 저해를 제거합니다.

هذا يفسر لماذا قد يعطي إنزيمان يحملان الاسم نفسه نتائج مختلفة مع المادة الخام نفسها. إنزيم مهيأ لتحلل السيليوبيوز بكفاءة قد لا يكون بالضرورة الأفضل لتحرير مركبات عطرية من غليكوسيدات العنب، والعكس صحيح. الدراسات التي قارنت خصائص β-glucosidase من سلالات خميرية مختلفة بيّنت أن المصدر الحيوي والتعبير البروتيني يمكن أن يؤثرا في الخصائص الوظيفية للإنزيم، حتى عندما تكون الوظيفة العامة واحدة وهي تحلل رابطة β-غلوكوسيدية [5].

في منظومة السليلوز، الآلية العملية أكثر من مجرد تفاعل منفرد. تقوم إنزيمات أخرى بفتح ألياف السليلوز أو تقطيع السلاسل إلى وحدات أقصر، ثم يأتي beta-glucosidase ليحوّل السيليوبيوز وبعض السكريات قليلة التعدد إلى غلوكوز. إذا لم تكتمل هذه الخطوة، يمكن أن تتراكم نواتج وسيطة وتبطئ بقية النظام، لذلك يُنظر إلى بيتا-غلوكوسيداز بوصفه عنصر "إنهاء" في كوكتيلات السليولاز وليس إضافة ثانوية [6].

التطبيق الرئيسي: تحلل السليلوز والكتلة الحيوية

أهم استخدام تقني واسع لإنزيم Beta-Glucosidase هو دعم **تحلل السليلوز** في الكتلة الحيوية النباتية. السليلوز بوليمر من وحدات غلوكوز مرتبطة بروابط β، لكن الوصول إلى الغلوكوز القابل للتخمير يتطلب سلسلة من الخطوات: فتح البنية الليفية، تقطيع السلاسل، تحرير السيليوبيوز، ثم تحويل السيليوبيوز إلى غلوكوز. تقع الخطوة الأخيرة غالبًا تحت مسؤولية β-glucosidase، ولذلك يؤثر نقصه أو عدم توافقه مع بقية الإنزيمات في مردود السكريات النهائية [1].

دراسة التأثير التآزري بين إكسوسليولاز وإندوسليولاز وبيتا-غلوكوسيداز من *Bacillus subtilis* توضح فكرة مهمة: إنزيمات السليلوز لا تعمل ككيانات منفصلة، بل كشبكة متعاونة. الإندوسليولاز يخلق نهايات جديدة في السليلوز، والإكسوسليولاز يحرر وحدات أقصر، وbeta-glucosidase يزيل السيليوبيوز من المسار بتحويله إلى غلوكوز. هذا التآزر هو ما يجعل إضافة بيتا-غلوكوسيداز ذات معنى في أنظمة التحلل الحيوي للمواد النباتية [6].

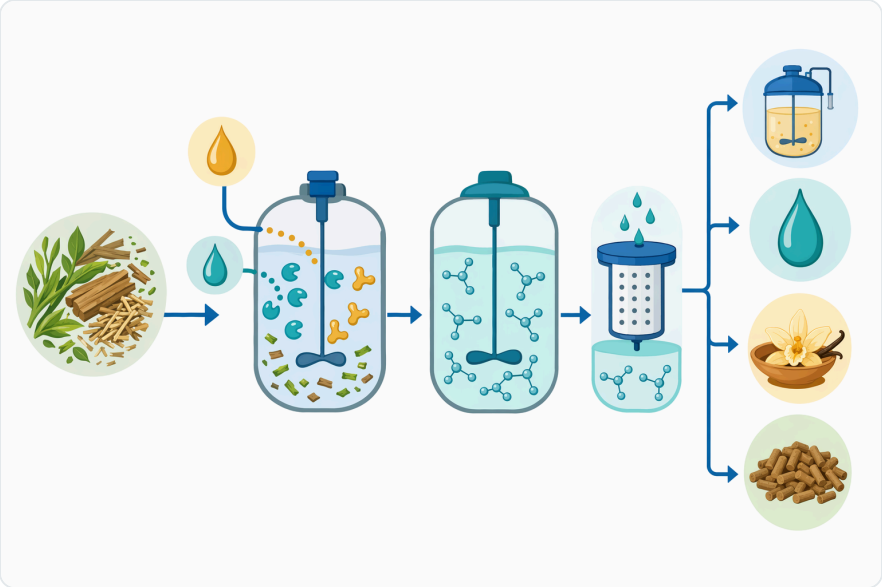

Figure 2. 산업적 용도에서 베타-글루코시다아제는 효소 가수분해 중에 흔히 첨가되어 셀로비오스와 글리코사이드를 발효 가능한 포도당과 활성 아글리콘으로 전환합니다.

كما أن تثبيط الغلوكوز أو تحمّل الغلوكوز من القضايا العملية في هذا المجال. عندما يتكون الغلوكوز أثناء التفاعل، قد يؤثر في نشاط بعض β-glucosidases، بينما وُصفت إنزيمات أخرى بأنها أكثر تحملًا للغلوكوز، مثل إنزيم مستمد من ميتاجينوم ميكروبي بحري دُرس بسبب هذه الصفة. هذا لا يعني أن كل منتج تجاري يمتلك السلوك نفسه، لكنه يبرز لماذا تُعد خصائص التثبيط بالنواتج عاملًا مهمًا عند تقييم ملاءمة الإنزيم لتحلل الكتلة الحيوية [7].

تحرير الأغليكونات والغليكوسيدات النباتية

إلى جانب السليلوز، يعمل Beta-Glucosidase على غليكوسيدات نباتية يكون فيها مركب عطري أو فينولي أو وظيفي مرتبطًا بالغلوكوز. عند كسر الرابطة، يتحرر **الأغليكون**، وقد يتغير التطاير أو الرائحة أو الذوبانية أو النشاط الحيوي للمركب. لهذا السبب يظهر الإنزيم في تطبيقات مرتبطة بالمشروبات، الأغذية المخمرة، المستخلصات النباتية، وتحويل المركبات الثانوية [8].

في صناعة النبيذ والمشروبات العطرية، دُرس β-glucosidase من *Issatchenkia orientalis* لتقييم قدرته على تحلل غليكوسيدات نبيذ مسقط، وهي حالة تطبيقية واضحة لأن جزءًا من الرائحة يكون موجودًا في صورة مرتبطة بالسكر. الفكرة ليست "إضافة رائحة" مباشرة، بل تحرير مركبات كانت موجودة أصلًا في المادة الخام لكنها أقل تطايرًا أو أقل إدراكًا حسيًا قبل التحلل الإنزيمي [8].

ومع ذلك، تحرير الأغليكونات ليس دائمًا مفيدًا تلقائيًا. بعض المواد الخام قد تحتوي غليكوسيدات تتحول إلى مركبات مرغوبة، وأخرى قد تنتج نكهات غير مناسبة أو تغيرات لونية أو تفاعلات لاحقة. لذلك تعتمد النتيجة على خريطة الغليكوسيدات في المادة، وخصوصية الإنزيم، وبيئة العملية. تعددية الوظائف التي وُصفت في β-glucosidase جديد من *Musca domestica* تذكّر بأن الإنزيمات قد تكون واسعة السلوك، لكن هذا الاتساع يحتاج إلى فهم تطبيقي قبل تعميمه على كل ركائز الأغذية أو النباتات [9].

Figure 3. 베타-글루코시다아제는 바이오매스 전환, 식품 및 음료의 향미 방
.출, 쓴맛 제거, 사료 가공, 기능성 소재의 글리코사이드 전환에 사용됩니다

مقارنة تطبيقات Beta-Glucosidase في القطاعات المهنية

مجال الاستخدام	الركائز أو المواد الشائعة	الدور التقني للإنزيم	نقطة الانتباه العملية
تحلل السليلوز والكتلة الحيوية	السيليوبيوز والسكريات قليلة التعدد من السليلوز	تحويل النواتج الوسيطة إلى غلوكوز ودعم منظومة السليولاز	التوافق مع إنزيمات الإندو/إكسوسليولاز وتأثير تراكم الغلوكوز
الوقود الحيوي والبيوريفاينري	مخلفات نباتية غنية بالسليلوز	زيادة توفر السكريات القابلة للتخمير	اختلاف الأداء حسب المادة الخام والمعالجة السابقة
المشروبات والأغذية المخمرة	غليكوسيدات عطرية نباتية	تحرير أغليكونات عطرية أو وظيفية	احتمال تحرير مركبات غير مرغوبة حسيًا
المستخلصات النباتية	غليكوسيدات فينولية أو عطرية أو ثانوية	تعديل صورة المركبات وخصائصها	خصوصية الركيزة تختلف بين مصادر الإنزيم
أنظمة الإنزيم المثبت	ركائز مائية أو شبه مائية قابلة للتلامس مع الدعامة	تسهيل الفصل أو إعادة الاستخدام في بعض التصاميم	التثبيت قد يغيّر النشاط أو الانتشار داخل النظام

توضح المقارنة أن اسم beta-glucosidase لا يكفي وحده لتحديد الأداء؛ فالسؤال الفني الحقيقي هو علاقة الإنزيم بالركيزة وبالمصفوفة. في دراسة قارنت خصائص فيزيائية-كيميائية وحركية وتثبيط الغلوكوز لعدة β-glucosidases لأغراض صناعية، كان اختلاف السلوك بين الإنزيمات محورًا رئيسيًا، وهو ما يدعم التعامل مع الإنزيم كفئة وظيفية متنوعة لا كمنتج موحد الخواص [1].

الخصائص التي تحدد ملاءمة الإنزيم للتطبيق

أول خاصية حاسمة هي **خصوصية الركيزة**. قد يكون الإنزيم أكثر ملاءمة للسيليوبيوز، أو للغليكوسيدات العطرية، أو لمجموعة أوسع من المركبات. هذه الخصوصية ترتبط بجيب الارتباط حول الغلوكوز وبالمساحة التي تستوعب الجزء غير السكري. لذلك تُقرأ نتائج أي تطبيق من زاوية: هل الركيزة الفعلية تشبه الركائز التي يفضلها الإنزيم أم لا؟ الدراسات على GH3 β-glucosidases تبيّن أن توصيف الخصائص الكيميائية الحيوية ضروري قبل إسقاط النتائج على عمليات مختلفة [2].

الخاصية الثانية هي **الاستقرار في المصفوفة**. في تطبيقات الكتلة الحيوية قد توجد مواد صلبة، مركبات فينولية، أملاح، سكريات ناتجة، أو لزوجة مرتفعة. في تطبيقات الأغذية والمشروبات قد توجد أحماض عضوية، إيثانول، بوليفينولات، أو مكونات عطرية. دراسة تأثير أيونات معدنية ومحاليل عضوية في نشاط وثبات β-glucosidase ضمن بنى "nanoflowers" تؤكد أن البيئة الكيميائية المحيطة يمكن أن تغير أداء الإنزيم بشكل ملحوظ، حتى عندما تبقى الوظيفة التحفيزية الأساسية نفسها [10].

الخاصية الثالثة هي **تحمل النواتج**، خصوصًا الغلوكوز. في عملية ناجحة، يزداد الغلوكوز مع تقدم التحلل، لكن هذا الناتج نفسه قد يبطئ بعض الإنزيمات. لذلك تحظى β-glucosidases المتحملة للغلوكوز باهتمام خاص في التطبيقات الصناعية، كما يظهر في توصيف إنزيم من ميتاجينوم بحري بقدرة لافتة على تحمل الغلوكوز [7]. هذه الصفة مهمة في تصميم عمليات تستهدف تركيزات أعلى من السكريات دون فقد كبير في معدل التحلل.

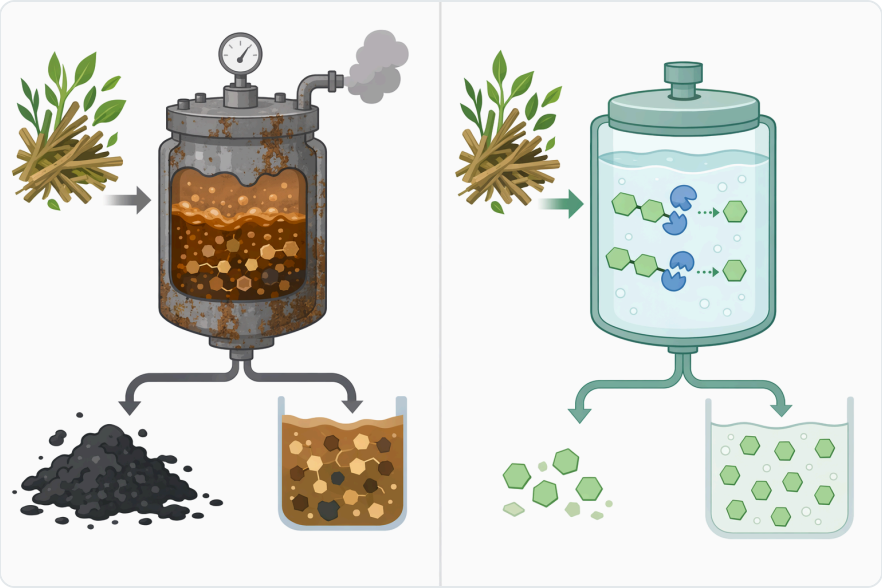

Figure 4. 산 가수분해와 비교해 베타-글루코시다아제를 이용한 공정은 더 온화한 조건에서 이루어지며, 셀로비오스를 전환하여 포도당 수율을 향상시킵니다.

الخاصية الرابعة هي **التوافق مع بقية النظام الإنزيمي**. في كوكتيل السليولاز، قد لا يكون أفضل بيتا-غلوكوسيداز منفردًا هو الأفضل داخل الخليط؛ فالنتيجة تعتمد على معدل توليد السيليوبيوز، ومعدل استهلاكه، وتلامس الإنزيمات مع المادة الصلبة، ووجود مثبطات مشتركة. دراسة التآزر بين إنزيمات السليلوز وبيتا-غلوكوسيداز من *Bacillus subtilis* تقدم نموذجًا لفهم هذا الترابط بدل النظر إلى كل إنزيم كمكوّن مستقل [6].

الإنزيم الحر والإنزيم المثبت: متى يكون التثبيت مفيدًا؟

يمكن استخدام β-glucosidase في صورة حرة ضمن الوسط، أو ضمن أنظمة تثبيت على دعامات صلبة في بعض العمليات. التثبيت قد يساعد على فصل الإنزيم من الوسط أو تحسين الاستقرار أو إتاحة إعادة الاستخدام في تصميمات معينة، لكنه قد يحد أيضًا من وصول الركيزة إلى الموقع النشط أو يغير مرونة البروتين. دراسة تثبيت β-glucosidase على دعامات من طين السميكتيت تناولت تصنيع هذه الدعامات وتوصيفها وخصائصها الكيميائية الحيوية، ما يوضح أن اختيار الدعامة جزء من هندسة العملية وليس مجرد خطوة شكلية [11].

لا ينبغي افتراض أن التثبيت خيار أفضل دائمًا. إذا كانت الركيزة جسيمية أو عالية اللزوجة، فقد يصبح الانتشار إلى الدعامة عاملًا محددًا. وإذا كان التطبيق غذائيًا أو حساسًا للتلوث الجسيمي، فقد تكون اعتبارات الفصل والنقاء أكثر أهمية. أما في عمليات مستمرة أو شبه مستمرة، فقد يكون للإنزيم المثبت معنى أكبر إذا حافظ على نشاط مناسب وتوافق مع الوسط. لذلك يُفهم التثبيت كأداة تصميمية مشروطة لا كترقية عامة لكل تطبيق [10].

المصادر الميكروبية وأهميتها الصناعية

توجد β-glucosidases في النباتات والفطريات والبكتيريا والخمائر والحشرات، لكن المصادر الميكروبية تحظى باهتمام خاص في التقنية الحيوية لأن الكائنات الدقيقة يمكن دراستها وتطوير نظم تعبير لها بسهولة نسبية. تحسين إفراز β-glucosidase مستقر حراريًا في *Bacillus subtilis* عبر تحسين ببتيدات الإشارة مثال على أن التحدي الصناعي لا يقتصر على "وجود الإنزيم"، بل يشمل إخراجه بكفاءة وتوفيره في صورة قابلة للمعالجة [12].

كما أن التنوع الميكروبي يفتح المجال لاكتشاف إنزيمات ذات خصائص غير معتادة، مثل تحمل الغلوكوز أو التكيف مع ملوحة أو مكونات معينة في الوسط. استنساخ وتوصيف إنزيمات من أكتينوميسيتات محللة للسليلوز أو من ميتاجينومات بحرية يشير إلى أن البحث عن β-glucosidase مناسب غالبًا يبدأ من البيئة التي تشبه التطبيق المستهدف: تربة غنية بالسليلوز، مخلفات نباتية، نظم بحرية، أو أوساط تخمير [3].

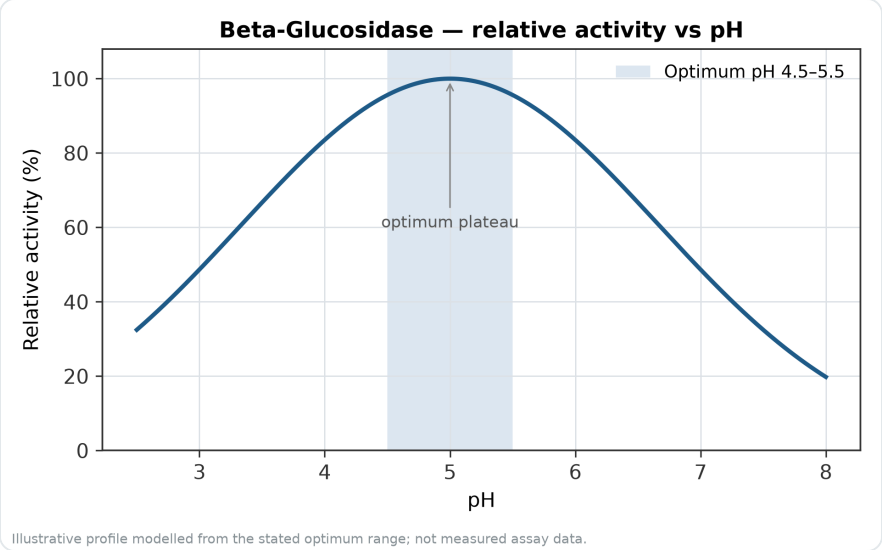

Figure 5. pH에 따른 베타-글루코시다아제의 상대 활성으로, pH 4.5–5.5에서 최적 활성 구간이 나타납니다.

في الخمائر، يحمل beta-glucosidase أهمية إضافية في تطبيقات المشروبات والتخمير لأنه قد يجمع بين نشاط إنزيمي وسياق حيوي قريب من عمليات الغذاء. المقارنة بين β-glucosidase من سلالة *Saccharomyces cerevisiae* محوّلة وسلالة مانحة من *Kluyveromyces fragilis* تبرز كيف يمكن لنظام التعبير أن يغير الخصائص العملية للإنزيم أو يسهّل استخدامه في بيئات تخمير مختلفة [5].

دور Beta-Glucosidase في التربة والسماد الحيوي

رغم أن الاستخدام الصناعي الأبرز هو الكتلة الحيوية، فإن β-glucosidase يُستخدم أيضًا في أبحاث التربة كمؤشر على نشاط تدوير الكربون، لأنه مرتبط بتحلل المواد العضوية وإطلاق السكريات. في دراسات جودة التربة التي دمجت خصائص فيزيائية وكيميائية وكيميائية حيوية، كانت الإنزيمات خارج الخلوية ومنها β-glucosidase جزءًا من الصورة التي تعكس النشاط الحيوي للتربة [13].

في التسميد الدودي ومعالجة المخلفات النباتية مثل تفل العنب، درست الأبحاث تأثير ديدان الأرض في الخصائص الميكروبية وأنشطة الإنزيمات خارج الخلوية، بما في ذلك الإنزيمات المرتبطة بتحلل الكربوهيدرات. هذه التطبيقات لا تعني أن المنتج الإنزيمي يضاف دائمًا مباشرة إلى التربة، لكنها توضح الدور البيئي الطبيعي للإنزيم في تحويل المواد النباتية المعقدة إلى مركبات أبسط ضمن دورة الكربون [14].

حدود الأداء وما لا ينبغي افتراضه

أهم حد هو أن **كل β-glucosidase ليس مناسبًا لكل ركيزة**. الإنزيم قد يعمل بوضوح على ركيزة نموذجية لكنه يعطي نتيجة أضعف في مادة خام حقيقية بسبب الحواجز الفيزيائية أو المركبات المثبطة أو اختلاف الغليكوسيدات. لذلك تُفهم بيانات الأدبيات بوصفها دليلًا على الإمكانات والآليات، لا ضمانًا مطلقًا لتطابق الأداء بين كل الأنظمة الصناعية [1].

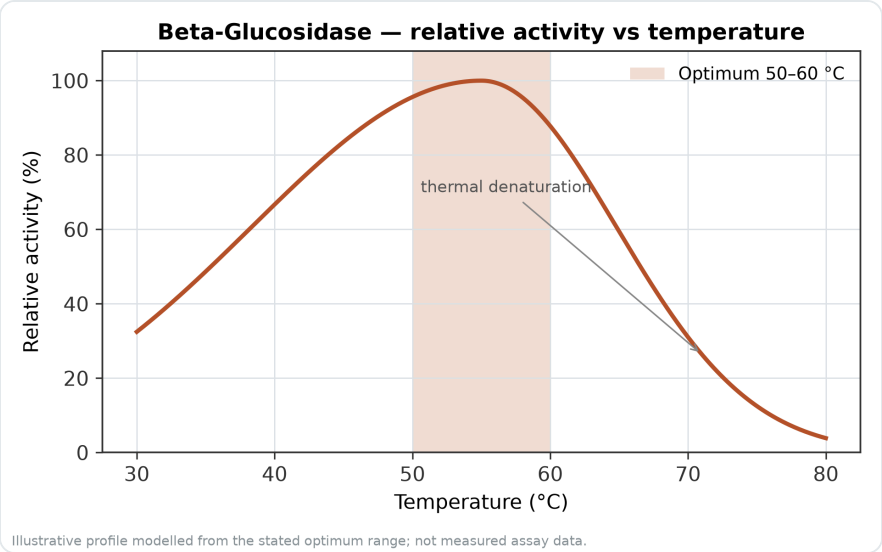

Figure 6. 온도에 따른 베타-글루코시다아제의 상대 활성으로, 50–60°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열 변성으로 인한 특징적인 활성 감소가 나타납니다.

الحد الثاني هو أن زيادة الغلوكوز قد تصبح عاملًا مثبطًا لبعض الإنزيمات. في تحلل السليلوز، الغرض من β-glucosidase هو تكوين الغلوكوز، لكن تراكم هذا الناتج قد يبطئ إنزيمات معينة. لذلك فإن صفة تحمل الغلوكوز، حين تكون موجودة، تمثل ميزة تطبيقية خاصة وليست خاصية عامة لكل أفراد الفئة الإنزيمية [7].

الحد الثالث يتعلق بتطبيقات النكهة. تحرير الأغليكونات من الغليكوسيدات النباتية قد يزيد مركبات عطرية مرغوبة، لكنه قد يغير التوازن الحسي بطرق غير متوقعة. دراسة تحلل غليكوسيدات نبيذ مسقط بإنزيم من *Issatchenkia orientalis* تُظهر الإمكان التطبيقي، لكنها في الوقت نفسه تذكّر بأن النتيجة مرتبطة بنوع الغليكوسيدات الموجودة في المادة الخام وبملاءمة الإنزيم لها [8].

الحد الرابع هو الاستقرار في الظروف غير المائية أو الغنية بالمكونات الكيميائية. وجود أيونات معدنية أو مذيبات عضوية أو مركبات فينولية أو أملاح قد يغير نشاط الإنزيم أو ثباته. لذلك يجب فهم الوسط الصناعي كعامل فعال في التفاعل، لا كخلفية خاملة، وهو ما تؤكده الدراسات التي تناولت تأثير الأيونات والمحاليل العضوية في نشاط وثبات β-glucosidase [10].

اعتبارات إدماج الإنزيم في العمليات

عند إدماج Beta-Glucosidase في عملية تحلل كتلة حيوية، تكون الأولوية لتوازن النظام الإنزيمي. إذا كانت خطوات الإندوغلوكاناز والإكسوغلوكاناز تولد السيليوبيوز أسرع مما يستهلكه بيتا-غلوكوسيداز، تظهر عنق زجاجة في المسار. أما إذا كان β-glucosidase متوفرًا وظيفيًا لكنه غير مستقر في الوسط أو مثبطًا بالنواتج، فقد لا تتحسن النتيجة كما هو متوقع. الأدبيات التي تقارن عدة β-glucosidases لأغراض صناعية تدعم هذا المنظور القائم على الملاءمة لا على الاسم التجاري أو التصنيف العام فقط [1].

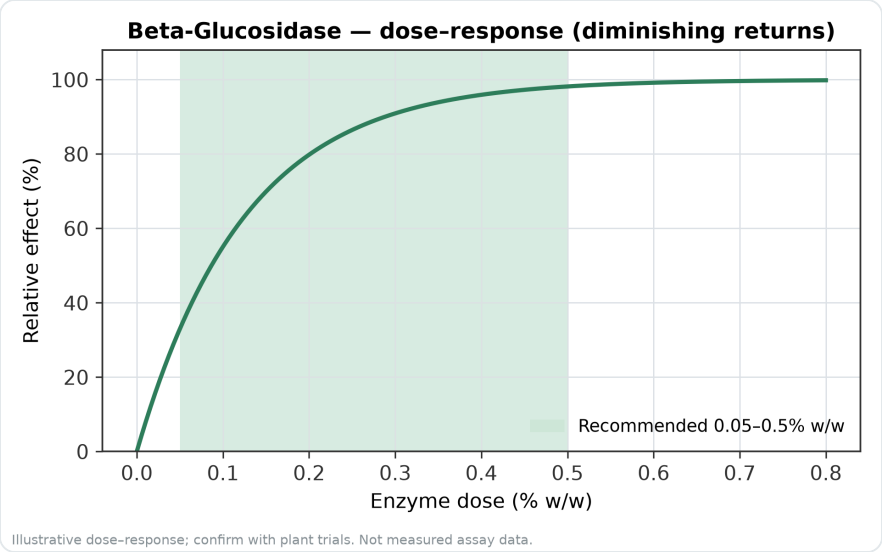

Figure 7. 권장 사용 범위(0.05–0.5% w/w)에서 베타-글루코시다아제의 예시적 용량-반응 관계.

في تطبيقات الغليكوسيدات النباتية، تكون الأولوية لمعرفة نوع الرابطة والمركب غير السكري. بعض الأغليكونات العطرية صغيرة ومناسبة لجيوب ارتباط معينة، بينما قد تكون مركبات أخرى ضخمة أو قطبية أو محاطة بمصفوفة نباتية معقدة. لذلك يتطلب نجاح التطبيق فهم المادة الخام: هل الغليكوسيدات قابلة للوصول؟ هل تحرير الأغليكون مطلوب؟ وهل يمكن أن تحدث تفاعلات لاحقة تغير النتيجة؟ دراسة إنزيمات موجهة لغليكوسيدات النبيذ مثال على هذا التفكير التطبيقي [8].

في أنظمة التثبيت أو التشغيل المتكرر، ينبغي النظر إلى العلاقة بين النشاط والاستقرار والانتشار. قد يحافظ الإنزيم المثبت على بنيته مدة أطول في ظروف معينة، لكن الركيزة يجب أن تصل إلى الموقع النشط بكفاءة. دراسة التثبيت على طين السميكتيت تبيّن أن الدعامة والإنزيم والوسط يشكلون نظامًا واحدًا، وأن الحكم على الأداء يتطلب النظر إلى الخصائص الكيميائية الحيوية بعد التثبيت وليس قبله فقط [11].

معلومات عملية عن منتج Enzymes.bio

تورد **Enzymes.bio** منتج **Beta-Glucosidase** عبر البيع المباشر على الإنترنت، والمنتج متاح بوحدة **1kg**. Enzymes.bio جهة توريد وليست جهة تصنيع أو مختبر تطوير؛ لذلك تُقدَّم هذه الوثيقة لتفسير وظيفة الإنزيم واستخداماته المهنية وآليات عمله، لا بوصفها مواصفة تصنيع أو تقرير اختبار.

تُرفق مع الطلب وثائق الدعم المعتادة، بما في ذلك **شهادة التحليل CoA** و**نشرة بيانات السلامة SDS**. تساعد هذه الوثائق المستخدم المهني على مراجعة معلومات الدفعة والسلامة والتداول ضمن بيئة العمل المناسبة، بينما تبقى ملاءمة الإنزيم لتطبيق محدد مرتبطة بالمصفوفة الصناعية والركائز والهدف العملي.

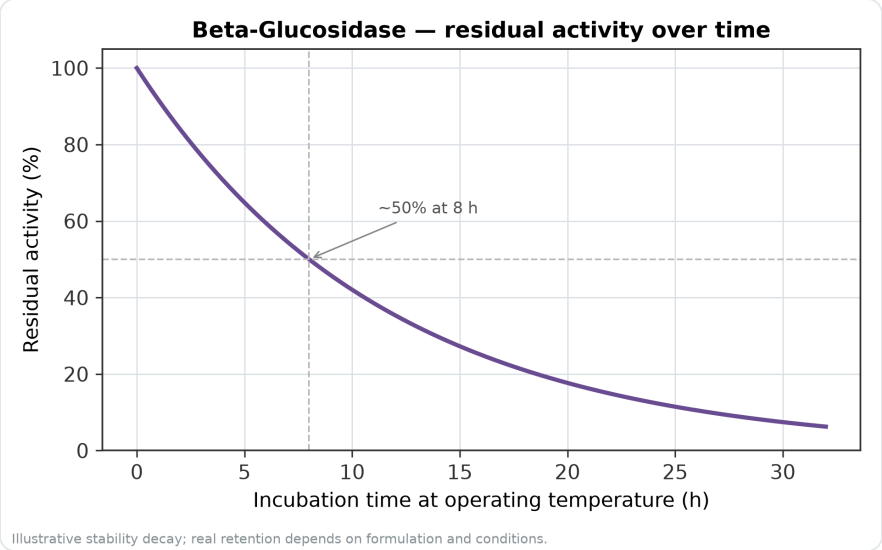

Figure 8. 작동 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소하는 베타-글루코시다아제의 예시적 열 안정성 감소.

لا تعرض هذه المقالة أرقام نشاط محددة أو شروط اختبار أو تعريفات وحدات نشاط، لأن الأداء التطبيقي لإنزيم beta-glucosidase لا يُختزل في رقم منفصل عن النظام. في الاستخدامات المهنية، تُقرأ قيمة الإنزيم عبر دوره في المسار: هل يقلل السيليوبيوز في تحلل السليلوز؟ هل يحرر الأغليكونات المطلوبة؟ هل يبقى مستقرًا في وسط العملية؟ وهل يتوافق مع الإنزيمات والمكونات الأخرى؟

خلاصة تقنية

إنزيم **Beta-Glucosidase** عنصر محوري في تحويل الروابط β-غلوكوسيدية إلى نواتج أبسط، وأهميته الصناعية الأوضح تظهر في تحلل السليلوز حيث يحول السيليوبيوز والسكريات القصيرة إلى غلوكوز ويدعم منظومة السليولاز. كما تمتد أهميته إلى الأغذية والمشروبات والمستخلصات النباتية عندما يكون الهدف تحرير الأغليكونات من الغليكوسيدات [6].

القيمة العملية للإنزيم تعتمد على خصوصية الركيزة، تحمل النواتج، الاستقرار في المصفوفة، والتآزر مع إنزيمات أخرى. لذلك يُنظر إلى beta-glucosidase كأداة معالجة حيوية دقيقة ذات تطبيقات واسعة، لكن نجاحها يتحدد داخل العملية الفعلية وليس من الاسم الوظيفي وحده [1].

اطلب Beta-Glucosidase 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 Beta-Glucosidase →

المراجع

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

1. Andrades, D., Graebin, N. G., Ayub, M., Fernández-Lafuente, R., & Rodrigues, R. (2019). Physico-chemical properties, kinetic parameters, and glucose inhibition of several beta-glucosidases for industrial applications. *Process Biochemistry*.
2. Ma, Y., Liu, X., Yin, Y., Zou, C., Wang, W., Zou, S., Hong, J., ... et al. (2015). Expression optimization and biochemical properties of two glycosyl hydrolase family 3 beta-glucosidases.. *Journal of Biotechnology*, 206, 79-88.
3. Spiridonov, N. A., & Wilson, D. (2001). Cloning and biochemical characterization of BglC, a beta-glucosidase from the cellulolytic actinomycete Thermobifida fusca.. *Current Microbiology*, 42 4, 295-301.
4. Liu, X., Cao, L., Zeng, J., Liu, Y., & Xie, W. (2019). Apo structure of a beta-glucosidase 1317. *International Journal of Biological Macromolecules*, 136, 1052-1059.
5. Leclerc, M., Chemardin, P., Arnaud, A., Ratomahenina, R., Galzy, P., Gerbaud, C., Raynal, A., ... et al. (1987). Comparison of the Properties of the Purified Beta-Glucosidase from the Transformed Strain of Saccharomyces Cerevisiae TYKF2 with that of the Donor Strain Kluyveromyces Fragilis Y610. *Biotechnology and applied biochemistry*, 9.
6. Ma, L., Chen, J., Wang, X., Yi, Y., Shan, Y., Liu, B., Zhou, Y., ... et al. (2019). Cloning and characterization of an exocellulase and synergistic effect with recombinant endocellulase and beta-glucosidase from Bacillus subtilis 1AJ3.
7. Fang, Z., Fang, W., Liu, J., Hong, Y., Peng, H., Zhang, X., Sun, B., ... et al. (2010). Cloning and characterization of a beta-glucosidase from marine microbial metagenome with excellent glucose tolerance.. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 20 9, 1351-8.
8. Ovalle, S., Brena, B., Fariña, L., & González-Pombo, P. (2016). Novel beta-glucosidase from Issatchenkia orientalis: Characterization and assessment for hydrolysis of muscat wine glycosides.

9. Zhang, S., Huang, J., Hu, R., Guo, G., Shang, X., & Jian-Wu (2017). Characterization of a new multifunctional beta-glucosidase from Musca domestica. *Biotechnology Letters*, 39, 1219 - 1227.

10. Altinkaynak, C., Samsa, C. G., Ekremoğlu, M., Turk, M., Ozturkler, M., Özdemir, N., & Atakisi, O. (2024). Influence of Metal Ions and Organic Solutions on Activity and Stability of Beta-Glucosidase Nanoflowers. *ChemistrySelect*.

11. Serefoglou, E., Litina, K., Gournis, D., Kalogeris, E., Tzialla, A., Pavlidis, I. V., Stamatis, H., ... et al. (2008). Smectite Clays as Solid Supports for Immobilization of β-Glucosidase: Synthesis, Characterization, and Biochemical Properties. *Chemistry of Materials*, 20, 4106-4115.

12. Khadye, V. S., Sawant, S. C., Shaikh, K., Srivastava, R., Chandrayan, S., & Odaneth, A. (2021). Optimal secretion of thermostable Beta-glucosidase in Bacillus subtilis by signal peptide optimization.. *Protein Expression and Purification*, 105843 .

13. Zornoza, R., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Arcenegui, V., García-Orenes, F., Mataix-Beneyto, J., & Morugán, A. (2007). Evaluation of soil quality using multiple lineal regression based on physical, chemical and biochemical properties.. *Science of the Total Environment*, 378 1-2, 233-7 .

14. Gómez-Brandón, M., Fornasier, F., Andrade, N., & Domínguez, J. (2022). Influence of earthworms on the microbial properties and extracellular enzyme activities during vermicomposting of raw and distilled grape marc.. *Journal of Environmental Management*, 319, 115654 .

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.