

إنزيم السيليلولاز الحمضي السائل لتحلل الألياف النباتية وفتح جدران الخلايا

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

إنزيم السيليلولاز الحمضي السائل هو عامل إنزيمي مخصص لتفكيك السيليلوز داخل الألياف النباتية في بيئات حمضية خفيفة، بما يساعد على فتح جدران الخلايا وتحسين إطلاق السكريات أو العصائر أو المركبات النباتية القابلة للاستخلاص. يعتمد أدائه على تآزر عدة أنشطة سيليلولازية تعمل على روابط السيليلوز بدل الاعتماد على إنزيم منفرد، ولذلك يكون أكثر فاعلية عندما تكون الألياف مهيأة لوصول الإنزيم إليها^[1].

توفّر Enzymes.bio منتج **Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysis** بصيغة سائلة للشراء المباشر عبر الإنترنت بوحدة **1kg**، مع إرفاق وثائق **CoA** و **SDS** مع الطلب. Enzymes.bio مؤد للمنتج وليست جهة تصنيع أو مختبر اختبار .

ما هو Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysis؟

Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysis هو تحضير سيليلولاز سائل موجه للعمليات التي تتطلب تحلل الألياف النباتية أو تعديلها في وسط حمضي خفيف. كلمة "Cellulase" تشير عملياً إلى منظومة من الإنزيمات القادرة على مهاجمة السيليلوز، وهو بوليمر خطي من وحدات الغلوكوز المرتبطة بروابط β -1,4-غليكوسيدية ويُعد أحد المكونات البنوية الرئيسية في جدار الخلية النباتية^[2].

الصيغة السائلة تجعل المنتج مناسباً للإضافة المباشرة إلى المعلقات النباتية، اللب، العصائر، مستخلصات الألياف، أو مخاليط الكتلة الحيوية الرطبة. في هذه البيئات، لا يعمل السيليلولاز ك"مذيب" للألياف، بل كعامل حفزي يقطع السلاسل السيليلوزية تدريجياً ويزيد قابلية الجدار الخلوي للانفتاح أو التفكك بحسب طبيعة المادة الخام وسير العملية^[3].

مصطلح "حمضي" يعني أن المنتج مصمم للاستخدام في عمليات يكون الوسط فيها حمضياً نسبياً، وهي بيئات شائعة في معالجة الفواكه، المستخلصات النباتية، بعض تطبيقات النسيج، وتحضير مخلفات زراعية قبل التحلل الحيوي. ولا يعني ذلك أن الأداء سيكون موحداً في كل مادة؛ فالسيليلوز في قشرة فاكهة طرية يختلف في إتاحتها عن السيليلوز المحاط باللجنين في القش أو الخشب أو الباغاس^[1].

لماذا تحتاج العمليات الصناعية إلى سيلولاز حمضي سائل؟

في كثير من المواد النباتية، توجد المركبات المرغوبة داخل شبكة جدار خلوي تحتوي على السليلوز والهيميسليلوز والبكتين واللجنين بنسب مختلفة. هذه الشبكة قد تحتجز العصير، المركبات العطرية، البوليفينولات، السكريات، الألياف الغذائية، أو المكونات القابلة للتخمير؛ لذلك فإن فتحها إنزيميًا يمكن أن يحسن انتقال هذه المكونات إلى الوسط السائل أو يزيد سهولة الفصل اللاحق [2].

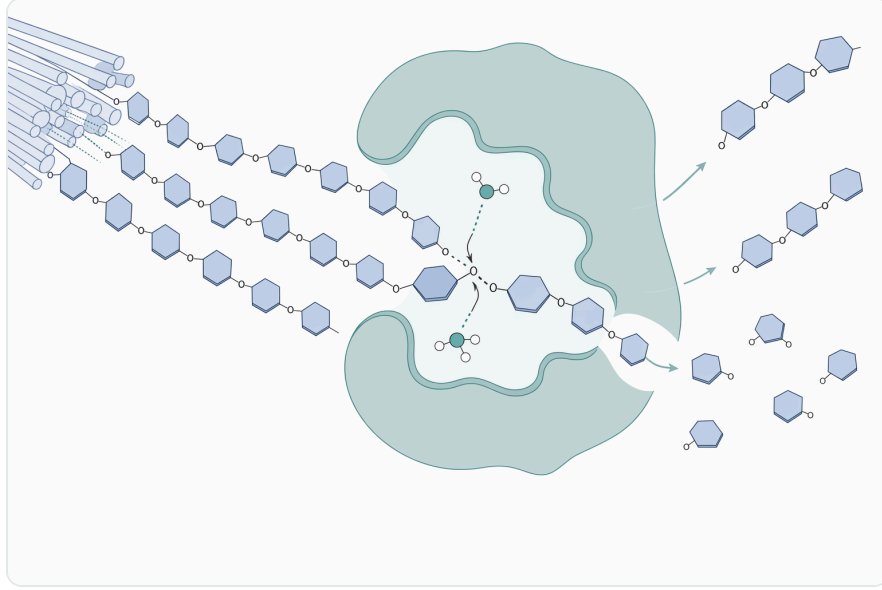


Figure 1. 산성 셀룰라아제는 셀룰로오스 섬유의 베타-1,4 글리코시드 결합을 가수분해하여 더 짧은 셀룰로올리고당과 포도당을 방출합니다

في تطبيقات الاستخلاص النباتي، تكون المشكلة غالبًا ليست نقص المذيب وحده، بل ضعف وصول المذيب إلى داخل البنية الجدارية. أظهرت دراسات على ألياف غذائية نباتية أن التحلل بالسيلولاز يمكن أن يغير خصائص الألياف، بما في ذلك سلوك الامتزاز والتفاعل مع الوسط، وهو ما يفسر استخدامه في تعديل البنية بدل الاكتفاء بالتقطيع الميكانيكي [4].

أما في الكتلة الحيوية الليغنوسليلوزية مثل قشور المحاصيل، الباغاس، القش، أو المخلفات الزراعية، فالتحدي أكبر لأن السليلوز يكون محاطًا بمصفوفة أكثر مقاومة. مراجعات تطبيقات السيلولاز تربط نجاح التحلل الحيوي بمدى كشف الألياف وتخفيف عوائق اللجنين والهيميسليلوز، ولهذا تُستخدم المعالجة المسبقة غالبًا قبل خطوة السيلولاز في مسارات إنتاج السكريات أو الوقود الحيوي [5].

في النسيج والقطن، قد يكون الهدف مختلفًا: ليس تحويل السليلوز كله إلى سكريات، بل تعديل السطح بإزالة الزغب والألياف الدقيقة أو تحسين ملمس القماش ومظهره. أظهرت دراسات حديثة عن تأثير السيلولاز في ألياف القطن أن المعاملة الإنزيمية يمكن أن تغير سطح الليف وخصائصه، ما يوضح لماذا تُستخدم السيلولازات في التشطيب الحيوي للأقمشة عند ضبط شدة المعالجة [6].

آلية التحلل: كيف يهاجم السيلولاز السليلوز؟

السليلوز مادة قوية لأنها تجمع بين سلاسل طويلة وروابط داخلية وتراص بلوري جزئي يجعل الوصول إلى الروابط الغليكوسيدية محدودًا. لذلك لا يكفي وجود إنزيم قادر على القطع؛ يجب أن يصل الإنزيم أولًا إلى سطح السليلوز، يثبت في موضع مناسب، ثم يبدأ قطع السلسلة بطريقة منظمة [7].

تتكون منظومة السيلولاز عادة من ثلاثة أدوار متكاملة. **الإندوغلوكاناز** يقطع السلاسل من مواضع داخلية، فيفتح البنية ويولد نهايات جديدة؛ و**السيلوبيوهيدرولاز** أو الإنزيمات الخارجية تعمل من نهايات السلسلة لإطلاق وحدات أقصر؛ أما **بيتا-غلوكوزيداز** فيحوّل السيلوبايوز والسكريات القصيرة إلى غلوكوز، ما يقلل تراكم الوسائط التي قد تعيق استمرار التحلل [2].

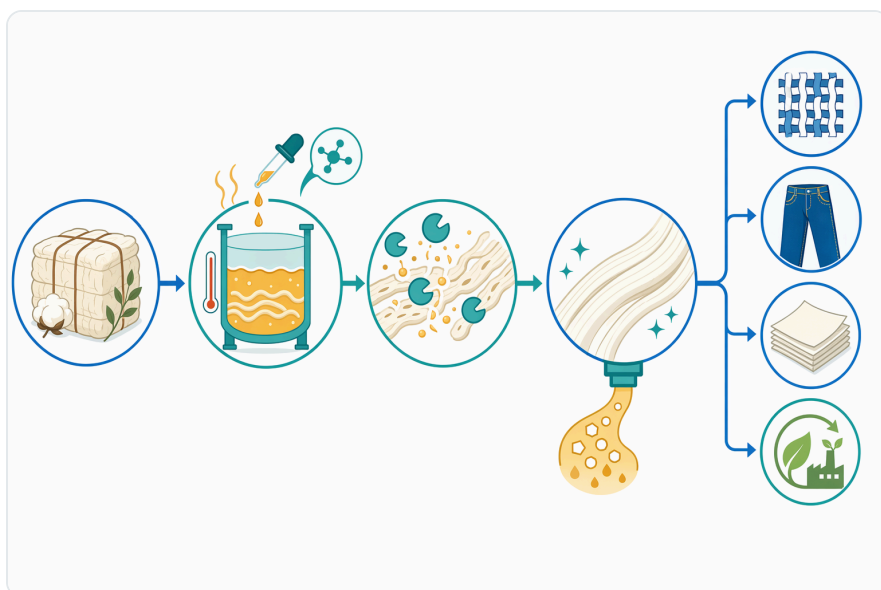


Figure 2. 산업용 섬유 가수분해 공정에서는 산성 셀룰라아제를 따뜻한 산성 욕조에 투입하여 셀룰로스 표면을 개질하고 수용성 가수분해 산물을 방출합니다.

هذا التآزر مهم لأن السليلوز ليس ركيزة متجانسة. المناطق الأقل انتظامًا تكون أسهل للقطع الداخلي، بينما تحتاج المناطق الأكثر ترتيبًا إلى إنزيمات قادرة على العمل المستمر من الأطراف وعلى السطح. وقد أظهرت دراسات على إنزيمات ميكروبية مشتقة أو معبر عنها أن الجمع بين إندوغلوكاناز وإنزيمات ثنائية الوظيفة يمكن أن يعزز فعل التحلل على ركائز نباتية مثل قش القمح مقارنة بفعل منفرد محدود [8].

تحتوي بعض السيلولازات على نطاقات ارتباط بالكربوهيدرات تساعد على الالتصاق بسطح السليلوز وتوجيه النطاق الحفزي نحو الروابط المستهدفة. تشير دراسات ديناميكيات السيلولاز إلى أن العلاقة بين نطاق الارتباط والنطاق الحفزي تؤثر في حركة الإنزيم وتفاعله مع الركيزة، وهو تفسير جزئي لسبب اختلاف الأداء بين السيلولازات حتى عندما تستهدف الرابطة نفسها [9].

لماذا يكون الوسط الحمضي مفيدًا في بعض التطبيقات؟

العديد من المواد النباتية المستخدمة في العصائر والمستخلصات تكون بطبيعتها حمضية أو تُعالج في وسط حمضي خفيف لأسباب تتعلق بالنكهة أو الثبات أو خطوات التحضير. استخدام سيلولاز موجه لهذه الظروف يقلل الحاجة إلى تغيير كبير في كيمياء الوسط، ما قد يحافظ على توافق العملية مع المنتج النهائي أو مع الإنزيمات المصاحبة مثل البكتيناز في بعض التطبيقات [3].

لكن الحموضة وحدها لا تضمن التحلل. إذا كانت الألياف غير متاحة، أو كان الجدار الخلوي غنيًا بمكونات تعيق الوصول، فقد ينخفض أثر السيلولاز حتى في وسط مناسب. لذلك تُظهر دراسات تحويل الكتلة الحيوية أن المعالجة المسبقة، سواء كانت فيزيائية أو كيميائية أو حيوية، يمكن أن تكون حاسمة لكشف السليلوز قبل التحلل الإنزيمي [10].

الفرق العملي بين التحلل الحمضي الكيميائي والتحلل الإنزيمي مهم. التحلل الكيميائي قد يكون شديدًا وغير انتقائي وقد يغير الألياف أو المركبات الحساسة بطرق واسعة، بينما يهاجم السيلولاز روابط محددة نسبيًا في السليلوز تحت ظروف ألطف عادة. دراسات تحضير ألياف السليلوز النانوية بالتحلل الحمضي تبرز قوة المسارات الحمضية الكيميائية في تفكيك البنية، لكنها تبيّن أيضًا أنها مسارات مختلفة عن التحفيز الإنزيمي الانتقائي [11].



Figure 3. 산성 셀룰라아제는 섬유 마감, 데님 가공, 펄프 및 제지 개질, 바이오-매스 처리, 세탁 관리, 섬유질이 풍부한 사료 분야에 사용됩니다

مقارنة عملية بين مسارات معالجة الألياف

المسار	آلية التأثير الأساسية	أين يكون مناسبًا؟	نقاط القوة	القيود العملية
السييلولاز الحمضي السائل	قطع إنزيمي انتقائي نسبيًا لروابط السليلوز وفتح جدار الخلية تدريجيًا	العصائر، المستخلصات النباتية، تعديل الألياف، تحضير الكتلة الحيوية الرطبة	يعمل في ظروف ألطف، قابل للدمج مع إنزيمات جدار الخلية، ويدعم تحسين الاستخلاص أو إطلاق السكريات	يتأثر بإتاحة السليلوز، بنية المادة الخام، والحموضة والظروف التشغيلية [2]
التحلل الحمضي الكيميائي	كسر كيميائي واسع للروابط في السليلوز أو المصفوفة النباتية	إنتاج مواد سليلوزية متخصصة أو تفكيك قوي للألياف	فعال في تغيير البنية وتقليل حجم الألياف في تطبيقات معينة	أقل انتقائية وقد يؤثر في المكونات الحساسة ويتطلب تحكمًا أعلى في التوافق اللاحق [12]
المعالجة القلوية أو الكيميائية المساعدة	تفكيك أو إزالة أجزاء من المصفوفة غير السليلوزية، وتحسين النفاذية	مخلفات زراعية، منسوجات مختلطة، أو عمليات إعادة تدوير كيميائية	قد تكشف السليلوز أو تفصل مكونات معقدة	ليست بديلًا مباشرًا عن السيلولولاز، وقد تغير المادة بعمق حسب التركيب [13]
المعالجة المسبقة ثم السيلولولاز	كشف الألياف أولًا ثم التحلل الإنزيمي	الوقود الحيوي، الباغاس، القش، المواد الليغنوسليلوزية	يزيد وصول الإنزيم ويعزز إطلاق السكريات	يحتاج إلى مواءمة بين نوع المعالجة والإنزيم والركيزة [14]

التطبيقات الرئيسية في تحلل الألياف والاستخلاص

معالجة الفواكه والعصائر والمستخلصات النباتية

في الفواكه والخضروات، يساعد السيلولولاز على إضعاف الجدار الخلوي، ما قد يسهل خروج العصير والمركبات الذائبة ويقلل احتجاز السائل داخل اللب. ويصبح هذا الأثر أوضح عندما تكون المشكلة مرتبطة بالألياف الدقيقة أو ببنية اللب التي تعيق الضغط والترشيح، لا بمجرد نقص زمن الاستخلاص [3].

عند العمل مع مواد غنية بالبكتين أو الهيميسليلوز، قد لا يكون السيلولولاز وحده كافيًا لفتح الجدار الخلوي بصورة كاملة. فالجدار النباتي منظومة متعددة البوليمرات؛ ولذلك تشير مراجعات السيلولولاز الصناعية إلى شيوع استخدامه ضمن كوكتيلات إنزيمية أوسع في قطاعات الغذاء والمشروبات والمعالجة النباتية، بحيث يتكامل مع إنزيمات تستهدف البكتين أو الهيميسليلوز [1].

في استخلاص المكونات الوظيفية، لا يقتصر الأثر على زيادة كمية السائل المستخلص؛ فقد يتغير شكل الألياف وخصائصها السطحية وقدرتها على ربط الماء أو المواد العضوية. دراسة ألياف كعكة جوز الهند الغذائية أظهرت أن المعاملة الحمضية والتحلل بالسيلولولاز وحجم الجسيمات والوسط المحيط كلها عوامل تؤثر في نشاط الامتزاز،

ما يوضح أن السيليلولاز يعدل بنية الألياف لا مجرد كميتها [4].

تحضير الكتلة الحيوية وإطلاق السكريات

في مسارات الوقود الحيوي والبيوريفائيري، يُستخدم السيليلولاز لتحويل السليلوز المكشوف إلى سكريات قابلة للتخمير بعد أن تقل مقاومة المادة الخام. مراجعات إنتاج السيليلولاز من المخلفات النباتية والفواكه تشير إلى أن الإنزيمات الميكروبية تلعب دورًا مهمًا في تحويل المخلفات الغنية بالسليلوز إلى مواد أولية للتخمير الحيوي [5].

دراسة تطبيق السيليلولاز المنتج بواسطة *Penicillium funiculosum* في تحلل باغاس قصب السكر لإنتاج إيثانول من الجيل الثاني توضح المنطق الصناعي: الباغاس مادة غنية بالألياف، لكنه يحتاج إلى تحضير وتحلل إنزيمي حتى تتحول كربوهيدراته البنيوية إلى سكريات قابلة للاستخدام في التخمير [14].

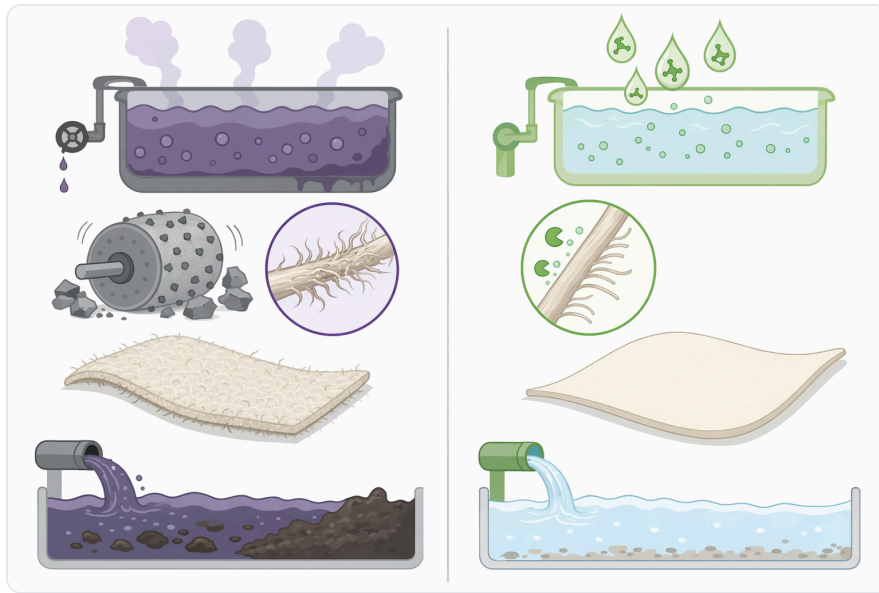


Figure 4. 강한 화학 처리나 연마 처리에 비해 산성 셀룰라아제는 더 온화하고 선택적인 셀룰로오스 섬유 가수분해를 가능하게 합니다

تؤكد دراسات أخرى على الأنسجة الخشبية المعالجة بمؤكسدات وأحماض عضوية أن أنماط التحلل تتغير كثيرًا بعد المعالجة المسبقة، وأن كشف البنية الداخلية يمكن أن يسرّع السكريفيكيشن. هذا يدعم استخدام السيليلولاز كخطوة تالية للمعالجة المسبقة بدل اعتباره حلًا وحيدًا للمواد الخشبية أو عالية المقاومة [10].

النسيج والقطن والتشطيب الحيوي

في الأقمشة القطنية والدينيم، يستهدف السيليلولاز الألياف السطحية الدقيقة أكثر مما يستهدف الجسم الكامل للنسيج. عند التحكم في المعالجة، يمكن أن يساعد ذلك على تقليل التورب، تحسين النعومة، وإظهار تأثيرات سطحية مرغوبة دون الاعتماد الكامل على الاحتكاك الميكانيكي القاسي [6].

دراسة حديثة على سيليلولاز *Aspergillus awamori* تضمنت تطبيقات نسيجية، إلى جانب إنتاج الإنزيم وتحسينه واستخدامه في سكرنة مخلفات نباتية. هذا الربط بين السكراري فيكيشن والتطبيقات النسيجية يوضح أن السيليلولاز نفسه يمكن أن يخدم أهدافًا مختلفة: إطلاق سكريات في ركيزة زراعية أو تعديل سطح في ألياف قطنية، حسب طريقة دمجه في العملية [15].

ومع ذلك، فإن الإفراط في التحلل ليس مطلوبًا في النسيج. كلما زادت شدة المعاملة، زاد احتمال التأثير في متانة الألياف أو فقدان وزن القماش؛ لذلك يجب النظر إلى السيليلولاز هنا كأداة تشطيب دقيقة لا كعامل تفكيك كامل للسيلولوز [3].

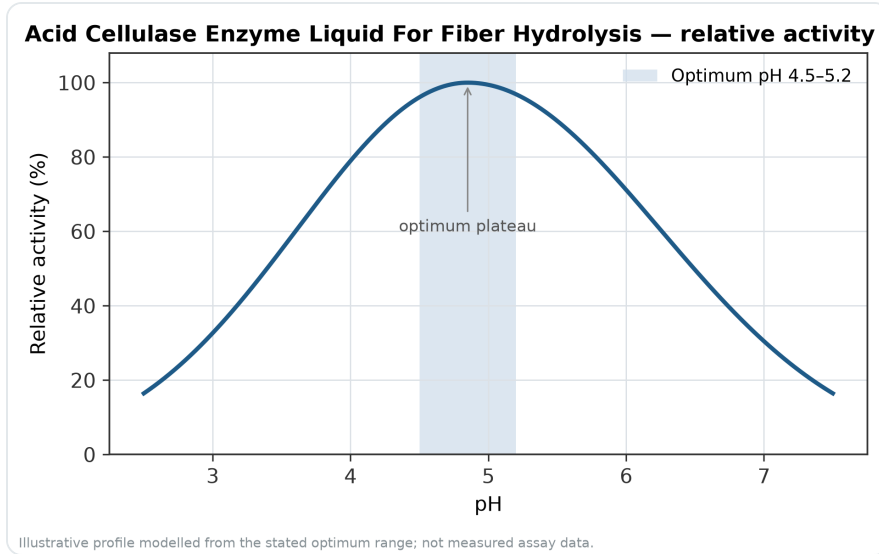


Figure 5. pH에 따른 섬유 가수분해용 산성 셀룰라아제 효소 액상의 상대 활성으로, pH 4.5~5.2에서 최적 활성 구간을 나타냅니다.

الأعلاف والسيلاج والمواد النباتية عالية الألياف

في الأعلاف، يرتبط استخدام السيليلولاز بفكرة زيادة إتاحة الألياف وتحسين تفكيك مكونات الجدار الخلوي داخل نظام غذائي عالي الخشونة. دراسة على جاموس مصري يتغذى على علائق عالية الخشونة بحثت أثر سيليلولاز منتج من *Penicillium chrysogenum* على إنتاج الحليب وتركيبه وملفات الأحماض الأمينية والدهنية، ما يعكس اهتمام قطاع التغذية الحيوانية بالإنزيمات الليفية [16].

في السيلاج، قد يكون الهدف دعم التخمر وتعديل تحلل الألياف بدل الاستخلاص المباشر. تشير دراسة حديثة عن ملح منتج لإنزيم فيروليك أسيد إستيراز إلى أن تحسين تفكيك الألياف في سيلاج نخالة الذرة والذرة الكاملة يرتبط أيضًا بتعديل المجتمع الميكروبي، ما يبيّن أن إنزيمات الجدار الخلوي تعمل غالبًا ضمن نظام حيوي وليس بمعزل عنه [17].

ما الذي يحدد نجاح التحلل بالسيليولاز؟

أول عامل هو إتاحة السليلوز. السليلوز الموجود في لب فاكهة مهروس أو ألياف ناعمة ليس مثل السليلوز داخل حزمة ليفية خشبية مغلقة باللجنين. لذلك يختلف الأداء بدرجة كبيرة بين المواد الخام، حتى إذا استخدم المنتج نفسه وبنمط إضافة مشابه [1].

العامل الثاني هو تبلور السليلوز وترتيبه. المناطق الأكثر انتظامًا تقاوم التحلل أكثر من المناطق غير المتبلورة، لأن السلاسل تكون أقل تعرضًا للنطاق الحفزي. ولهذا تهتم الأبحاث الحديثة بإنزيمات قادرة على تحسين تحلل السليلوز البلوري أو التعامل مع ركائز أكثر صعوبة [7].

العامل الثالث هو وجود بوليمرات أخرى في الجدار الخلوي. الهيميسليلوز والبكتين واللجنين قد يخفون سطح السليلوز أو يغيرون نفاذية الوسط أو يربطون الإنزيمات بطريقة تقلل فعاليتها. لذلك يكون دمج السيليولاز مع إنزيمات مساعدة أو خطوات تحضير مناسبة منطقيًا عندما تكون المادة الخام معقدة [2].

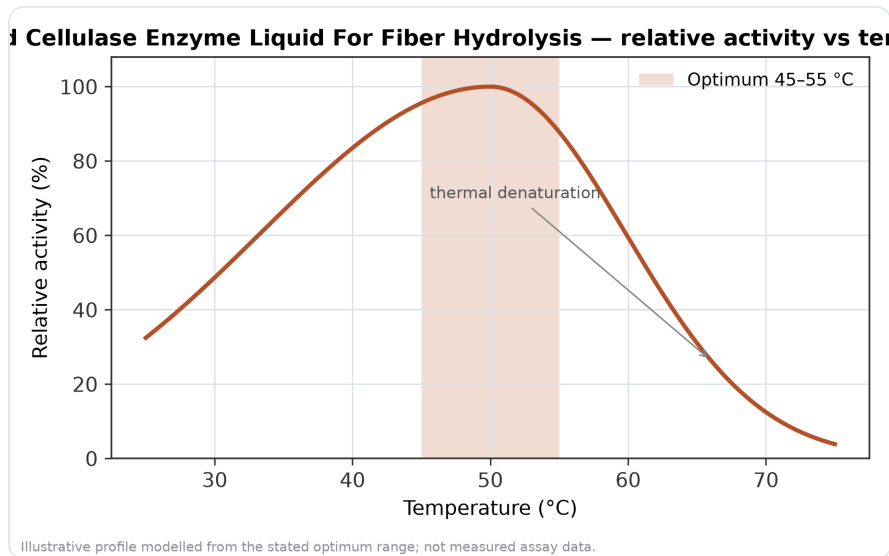


Figure 6. 온도에 따른 섬유 가수분해용 산성 셀룰라아제 효소 액상의 상대 활성으로, 45~55°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열변성에 따른 특징적인 활성 감소가 나타납니다

العامل الرابع هو توافق الوسط مع الإنزيم. السيليولاز بروتين حفزي يتأثر بالحموضة، الظروف الحرارية، الخلط، زمن التلامس، والمكونات الذائبة في الوسط. وفي التطبيقات العملية، لا تُقيّم الملاءمة من خلال اسم الإنزيم فقط، بل من خلال استجابة المادة الخام والنتيجة المطلوبة بعد المعالجة [3].

السيليولاز الحمضي مقابل المعالجة الكيميائية: متى يكون الاختيار منطقيًا؟

يكون السيليولاز الحمضي خيارًا منطقيًا عندما تكون الحاجة إلى تعديل انتقائي نسبيًا للسيليولاز أو فتح جدار الخلية دون إحداث تغيير كيميائي واسع في المادة. وهذا مهم في العصائر والمستخلصات والمكونات النباتية، حيث قد تكون المركبات الحسية أو النشطة حساسة للتفاعلات الكيميائية القاسية [3].

أما التحلل الحمضي الكيميائي فقد يكون مناسبًا عندما يكون الهدف إنتاج ألياف سليلوزية نانوية أو تقليل بنية السليلوز بشكل قوي ومباشر. دراسات إنتاج ألياف أو بلورات سليلوزية من مخلفات نباتية بالتحلل الحمضي تبين أن هذه المقاربة يمكن أن تنتج مواد ذات خصائص بنيوية مختلفة، لكنها ليست مكافئة لاستخدام إنزيم في عملية غذائية أو استخلاص لطيف [18].

في بعض عمليات إعادة تدوير المنسوجات أو فصل الخلطات، قد تُستخدم مسارات قلووية أو كيميائية لفصل مكونات مثل البوليستر والفسكوز أو تعديلها. هذه العمليات تستهدف كيمياء مختلفة عن السيلولاز، ولذلك يجب عدم الخلط بين "تحلل الألياف" كفكرة عامة وبين التحلل الإنزيمي الانتقائي للسيلولوز [13].

دمج المنتج في سير عملية صناعية

عادةً يُضاف السيلولاز الحمضي السائل إلى وسط رطب يحتوي على الألياف أو المادة النباتية المستهدفة، ثم يُمنح زمن تلامس كافٍ قبل خطوة الفصل أو الضغط أو الترشيح أو التخثير أو المعالجة اللاحقة. ولأن المنتج سائل، يكون توزيعه داخل المعلقات أسهل من المواد التي تحتاج إلى إذابة مسبقة، بشرط أن يسمح الخلط بوصوله إلى الألياف دون تعريض العملية لظروف غير مناسبة.

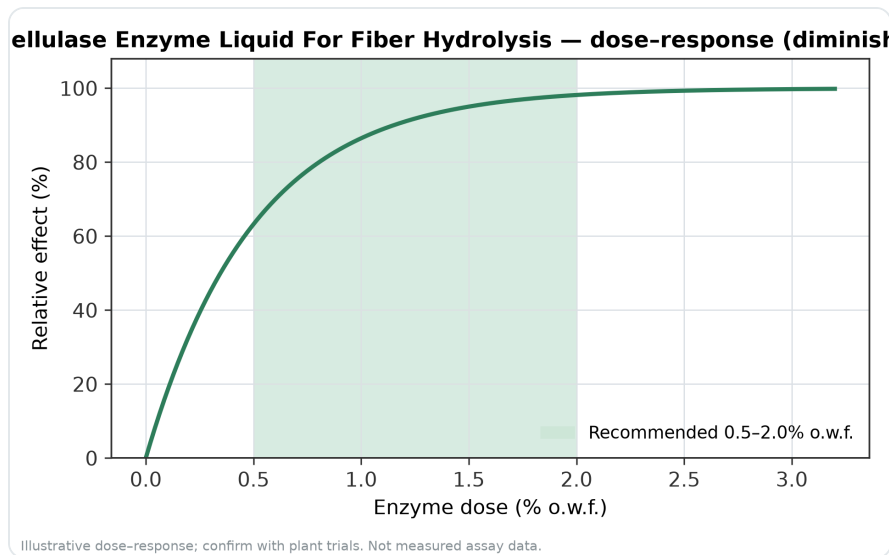


Figure 7. 권장 사용 범위(섬유 중량 대비 0.5~2.0%)에서 섬유 가수분해용 산성 셀룰라아제 효소 액상의 예시적 용량-반응 관계입니다.

في العصائر والمستخلصات، يكون موضع الإضافة غالبًا قبل الفصل الصلب/السائل، لأن الهدف هو تحرير المكونات من الخلايا أو تقليل مقاومة اللب. أما في الكتلة الحيوية، فيأتي السيلولاز عادة بعد خطوة تجعل السليلوز أكثر انكشافًا، كما في الباغاس أو المخلفات النباتية المعالجة قبل السكر فيفيكيشن [14].

في النسيج، يُنظر إلى السيلولاز كخطوة تشطيب أو تعديل سطح، ولذلك تكون شدة المعالجة مرتبطة مباشرة باللمس والمظهر وقوة القماش. الأبحاث على ألياف القطن تدعم أن أثر السيلولاز قابل للملاحظة على بنية السطح، لكن التحكم في العملية هو ما يفرق بين تحسين مقصود وتلف غير مرغوب [6].

حدود الأداء وتوقعات واقعية

لا ينبغي توقع نتيجة موحدة من السيليلولاز الحمضي في جميع الألياف النباتية. المواد منخفضة المقاومة أو المطحونة أو الغنية بجران خلوية سهلة الفتح قد تستجيب بوضوح، بينما تحتاج المواد الخشبية أو عالية اللجنين إلى معالجة مسبقة أو منظومة إنزيمية أوسع لتحقيق تحلل كافٍ [10].

كذلك، لا يعني إطلاق كمية أكبر من السكريات أو تقليل اللزوجة أن العملية أصبحت مثالية تلقائيًا. في بعض التطبيقات، قد يؤدي التحلل الزائد إلى فقدان قوام مرغوب، أو تغير في ترشيح المنتج، أو ضعف ألياف النسيج، أو زيادة مواد ذائبة لا تناسب مواصفات المنتج النهائي [3].

من المهم أيضًا التمييز بين الأدلة العامة على فعالية السيليلولاز وبين أداء منتج محدد في مادة خام محددة. الأدبيات تثبت بوضوح أن السيليلولازات الميكروبية لها تطبيقات واسعة في الغذاء، الوقود الحيوي، النسيج، الأعلاف، والبيئة، لكنها تؤكد في الوقت نفسه أن الركيزة والظروف وسياق العملية هي التي تحدد النتيجة النهائية [2].

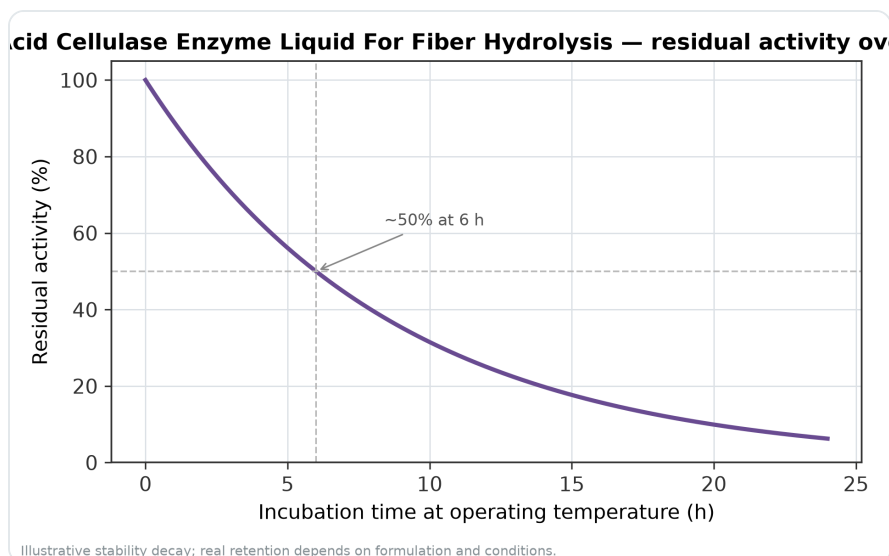


Figure 8. 섬유 가수분해용 산성 셀룰라아제 효소 액상의 예시적 열 안정성 감소로, 작동 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소합니다

معلومات التوريد من Enzymes.bio

توفّر Enzymes.bio منتج **Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysis** كسيلولاز حمضي سائل مخصص لتحلل الألياف النباتية وفتح جدران الخلايا ضمن تطبيقات صناعية مناسبة. المنتج متاح للشراء المباشر عبر الإنترنت بوحدة **1kg**، وتُرفق مع الطلب وثائق **CoA** و **SDS** لدعم الشفافية الأساسية والاستخدام المسؤول.

ينبغي التعامل مع هذه الوثيقة كمورد تقني تعليمي يشرح الأساس العلمي والتطبيقي للسيليلولاز الحمضي، لا كبديل عن تقييم ملاءمة المنتج داخل العملية الفعلية. أفضل النتائج تتحقق عندما يكون الهدف واضحًا: تحسين استخلاص، تقليل لزوجة، إطلاق سكريات، تعديل سطح، أو دعم تفكيك ألياف؛ ثم تُضبط العملية حول هذا الهدف

بدل استخدام السيلولاز كإضافة عامة لكل مادة نباتية [1].

خلاصة تقنية

إنزيم السيلولاز الحمضي السائل لتحلل الألياف يعمل من خلال منظومة إنزيمية متآزرّة تقطع روابط السليلوز وتفتح البنية الجدارية للنبات، ما يجعله مفيدًا في العصائر، المستخلصات النباتية، تحضير الكتلة الحيوية، النسيج، وبعض تطبيقات الأعلاف والسيللاج. قوته الأساسية أنه يوفر مسارًا إنزيميًا أطف وأكثر انتقائية من كثير من المعالجات الكيميائية، مع احتفاظه بالحاجة إلى وسط مناسب وإتاحة كافية للألياف [2].

يعتمد الأداء النهائي على نوع المادة الخام، مقدار انكشاف السليلوز، وجود اللجنين أو البكتين أو الهيميسليلوز، وشدة العملية المطلوبة. لذلك يكون استخدام **Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysis** أكثر نجاحًا عندما يُدمج ضمن سير عملية مدروس يوازن بين التحلل المطلوب والحفاظ على خصائص المنتج النهائي [3].

اطلب **Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysis** 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.

→ **اشتر **Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysis****

المراجع

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

1. Singh, A., Bajar, S., Devi, A., & Pant, D. (2021). An overview on the recent developments in fungal cellulase production and their industrial applications. *Bioresource Technology Reports*, 14, 100652.
2. Sutaoney, P., Rai, S., Sinha, S., Choudhary, R., Gupta, A., Singh, S. K., & Banerjee, P. (2024). Current perspective in research and industrial applications of microbial cellulases. *International Journal of Biological Macromolecules*, 130639.
3. Budhraj, A. A., & Roy, R. (2024). ADVANCEMENTS IN CELLULASE ENZYME TECHNOLOGY: APPLICATIONS, CHALLENGES, AND FUTURE PERSPECTIVES. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*.
4. Zheng, Y., Li, Y., Xu, J., Gao, G., & Niu, F. (2018). Adsorption activity of coconut (Cocos nucifera L.) cake dietary fibers: effect of acidic treatment, cellulase hydrolysis, particle size and pH. *RSC Advances*, 8, 2844 - 2850.
5. Areeshi, M. Y. (2022). Microbial cellulase production using fruit wastes and its applications in biofuels production. *Journal of food microbiology*, 378, 109814.

- Uğraş, S., Bicen, H. E. I., & Emire, Z. (2024). Determination of Cellulase Enzyme Produced by Bacillus cereus DU-1 Isolated from Soil, and Its Effects on Cotton Fiber. *Brazilian Archives of Biology and Technology* .6
- Adab, F. K., Yaghoobi, M. M., & Gharechahi, J. (2024). Enhanced crystalline cellulose degradation by a novel metagenome-derived cellulase enzyme. *Scientific Reports*, 14 .7
- Wang, Z., Tang, H., Li, Y., Yang, B., Liang, X., Gong, H., Chen, Y., ... et al. (2024). Characterization and synergistic activity of heterologously expressed microbial-derived endoglucanase and bifunctional cellulase on wheat straw. *International Journal of Biological Macromolecules*, 282 Pt 6, 137485 .8
- Batista, P. R., Costa, M. G. S., Pascutti, P., Bisch, P., & Souza, W. (2011). High temperatures enhance cooperative motions between CBM and catalytic domains of a thermostable cellulase: mechanism insights from essential dynamics. *Physical Chemistry, Chemical Physics - PCCP*, 13 30, 13709-20 .9
- Lee, D., Lee, Y., Cho, E., Song, Y., & Bae, H. (2021). Hydrolysis pattern analysis of xylem tissues of woody plants pretreated with hydrogen peroxide and acetic acid: rapid saccharification of softwood for economical bioconversion. *Biotechnology for Biofuels*, 14 .10
- Neenu, K., Dominic, C. M. M., Begum, P., Parameswaranpillai, J., Kanoth, B., David, D. A., Sajadi, S., ... et al. (2022). Effect of oxalic acid and sulphuric acid hydrolysis on the preparation and properties of pineapple pomace derived cellulose nanofibers and nanopapers. *International Journal of Biological Macromolecules* .11
- Ndwandwa, N., Ayaa, F., Iwarere, S., Daramola, M., & Kirabira, J. (2023). Extraction and Characterization of Cellulose Nanofibers From Yellow Thatching Grass (Hyparrhenia filipendula) Straws via Acid Hydrolysis. *Waste and Biomass Valorization*, 14, 2599-2608 .12
- Bengtsson, J., Peterson, A., Idström, A., Motte, H., & Jedvert, K. (2022). Chemical Recycling of a Textile Blend from Polyester and Viscose, Part II: Mechanism and Reactivity during Alkaline Hydrolysis of Textile Polyester. *Sustainability* .13
- Maeda, R. N., Barcelos, C., Anna, L. M. S. S., & Pereira, N. (2013). Cellulase production by Penicillium funiculosum and its application in the hydrolysis of sugar cane bagasse for second generation ethanol production by fed batch operation. *Journal of Biotechnology*, 163 1, 38-44 .14
- Mostafa, F., Wehaidy, H. R., Sharaf, S., El-hennawi, H., Mahmoud, S. A., & Saleh, S. A. A. (2024). Aspergillus awamori MK788209 cellulase: production, statistical optimization, pea peels saccharification and textile applications. *Microbial Cell Factories*, 23 .15
- Azzaz, H., Tawab, A. M. A. E., Khattab, M., Szumacher-Strabel, M., Cieślak, A., Murad, H., Kiełbowicz, M., ... et al. (2021). Effect of Cellulase Enzyme Produced from Penicillium chrysogenum on the Milk Production, Composition, Amino Acid, and Fatty Acid Profiles of Egyptian Buffaloes Fed a High-Forage Diet. *Animals*, 11 .16
- Yu, Y., Guo, X., Li, H., Yu, C., Liu, H., & Guo, W. (2025). Ferulic Acid Esterase-Producing Inoculant Improves Fiber Degradation and Modulates Microbial Diversity in Corn Bran Silage and Whole-Plant Corn Silage. *Microorganisms*, 13 .17
- Costa, F. A. D., Dufresne, A., Song, T., & Parra, D. F. (2025). Exploring acid hydrolysis conditions and extended mechanical processing for producing cellulose nanocrystal and nanofibrils from pineapple leaf fibers. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141755 .18

تواصل مع Enzymes.bio


هل لديك أسئلة حول طلب؟ يسرّ فريقنا مساعدتك.

→ تواصل معنا

الهاتف (الولايات المتحدة) +1 (507) 6057-428

البريد الإلكتروني wholesale@enzymes.bio

54  نخدم العملاء حول العالم

+60  شركاء بحثيون جامعيون

+400  عملاء B2B

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