إنزيم Pectate Lyase لترويق العصائر ومعالجة البكتين في التطبيقات الصناعية

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

إجابة مباشرة: إنزيم **Pectate Lyase** يقطع سلاسل البكتات والبكتين منخفض الأسترة بآلية **β-elimination** لا بالتحلل المائي، ما يحوّل البوليمرات البكتينية الطويلة إلى أوليغومرات أقصر وأقل قدرة على رفع اللزوجة أو تثبيت العكارة. لذلك يُستخدم أساسًا في ترويق العصائر ومعالجة المواد النباتية، كما يُدرس ويُطبّق في التحضير الحيوي للأقمشة القطنية وإزالة صمغ ألياف الرامي عندما تكون المكوّنات البكتينية هي العائق التقني الرئيسي [1].

توفّر **Enzymes.bio** إنزيم Pectate Lyase كمورّد عبر الإنترنت، وليست جهة مصنّعة ولا مختبرًا بحثيًا. يُباع المنتج مباشرة بوحدة **1 kg**، وتُرفق مع الطلب وثائق **CoA** و**SDS** لدعم الاستخدام الصناعي المسؤول وفهم بيانات الدفعة والسلامة.

ما هو Pectate Lyase ولماذا يهم صناعيًا؟

Pectate Lyase هو إنزيم من مجموعة إنزيمات تفكيك البكتين، لكنه يتميز عن كثير من إنزيمات البكتين بأنه يستهدف أساسًا **البكتات** أو البكتين قليل الأسترة، أي الأجزاء الأكثر غنى بوحدات حمض الجالاكتورونيك الحرة. في الجدار الخلوي النباتي، تعمل هذه البوليمرات كجزء من "ملاط" بنيوي يربط الخلايا والألياف، ولذلك فإن تقطيعها يغيّر قابلية المادة النباتية للعصر، والترشيح، والترويق، والفصل الليفي [2].

الأهمية العملية للإنزيم تظهر عندما تكون المشكلة ليست وجود السليلوز نفسه، بل وجود شبكة بكتينية ترفع اللزوجة أو تمسك الجزيئات الدقيقة في المعلّق أو تربط الألياف النباتية بعضها ببعض. في عصير الفاكهة مثلًا، قد تُسهم مكوّنات البكتين في العكارة وصعوبة الترشيح؛ وفي القطن والرامي، تؤدي المواد البكتينية والصمغية إلى ضعف البلل وصعوبة التحضير للصباغة أو المعالجة اللاحقة [3].

تُظهر الأدبيات أن Pectate Lyases ليست عائلة واحدة متجانسة؛ فقد وُصفت إنزيمات بكتيرية وفطرية وحرارية وقلوية وذات ثبات مختلف. دراسات على إنزيمات من **Bacillus** و**Paenibacillus** و**Aspergillus** و**Caldicellulosiruptor** وغيرها توضّح أن التطبيق الصناعي يرتبط بخصائص الإنزيم وبالوسط الذي يعمل فيه، لا باسم الإنزيم فقط [4].

الآلية الكيميائية: قطع البكتات بآلية β-elimination

تتكون البكتات أساسًا من وحدات حمض الجالاكتورونيك المرتبطة بروابط غليكوسيدية خطية ضمن سلاسل طويلة. يعمل Pectate Lyase على كسر هذه السلاسل عبر **إزالة بيتا**، وهي آلية تنتج رابطة غير مشبعة في نواتج التفاعل، بخلاف إنزيمات التحلل المائي التي تستخدم الماء لكسر الرابطة وتنتج نهايات مشبعة عادةً [5].

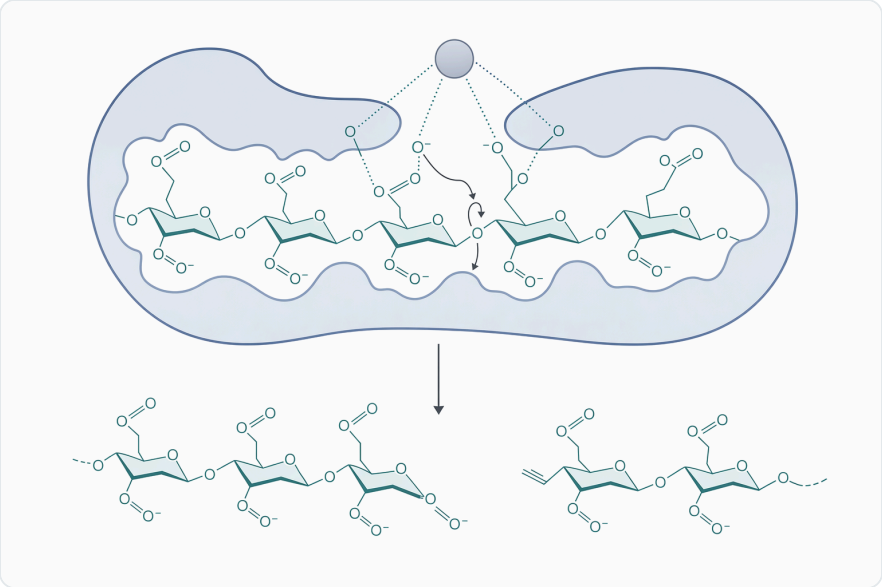

Figure 1. 펙테이트 분해효소는 칼슘 보조 베타-제거 반응을 통해 폴리갈락투론산을 절단하여 불포화 펙틴 올리고당을 생성한다.

هذه الآلية مهمة لأن الناتج ليس مجرد "بكتين أصغر"، بل **أوليغوجالاكتورونات غير مشبعة** ذات خصائص فيزيائية مختلفة عن البوليمر الأصلي. تقصير السلسلة يقلل قدرة البكتات على بناء شبكة لزجة أو تثبيت الجسيمات الغروية، وهو ما يفسّر ارتباط الإنزيم بترويق العصائر وخفض مقاومة الترشيح وتحسين فصل المواد النباتية [6].

في كثير من Pectate Lyases، تلعب البيئة الأيونية دورًا واضحًا، خصوصًا مع ذكر اعتماد عدد من هذه الإنزيمات على الكالسيوم أو تأثرها بعوامل ترتبط بالأيونات المعدنية. لذلك لا ينبغي النظر إلى الإنزيم كمسحوق "يعمل بمعزل عن الوسط"، بل كعامل حيوي يتأثر بتركيب الماء، والأملاح، والحموضة، وطبيعة الركيزة البكتينية [2].

ماذا يعني "البكتين منخفض الأسترة" في الاستخدام العملي؟

البكتين ليس مادة واحدة ثابتة؛ فهو يختلف في درجة أسترته، وطول سلاسله، وتفرعاته، وارتباطه بسكريات أو معادن أو مكوّنات جدار خلوي أخرى. Pectate Lyase يميل إلى العمل على المناطق التي تكون فيها مجموعات الكربوكسيل أكثر حرية، أي المناطق منزوعة الأسترة أو الأقل أسترة، ولذلك تختلف النتيجة بين تفاح وحمضيات وخضروات وألياف نباتية حتى لو وُصفت جميعها بأنها "غنية بالبكتين" [7].

هذا التمييز يفسّر لماذا قد يحقق الإنزيم أثرًا واضحًا في مادة نباتية ولا يعطي الأثر نفسه في مادة أخرى. إذا كانت الركيزة تحتوي على بكتين عالي الأسترة أو بنية جدار معقدة، فقد يحتاج النظام الصناعي إلى إنزيمات بكتينية أخرى بجانب Pectate Lyase، مثل pectin lyase أو polygalacturonase أو pectin methylesterase، بحسب هدف العملية وتركيب المادة الخام [5].

مقارنة Pectate Lyase بإنزيمات البكتين الأخرى

يوضح الجدول التالي الفروق الوظيفية بين Pectate Lyase وبعض الإنزيمات القريبة منه. المقارنة هنا تقنية عامة، والغرض منها فهم موضع Pectate Lyase داخل منظومة إنزيمات البكتين، لا تقديم وصفة تشغيل ثابتة لكل تطبيق.

الإنزيم	الركيزة المفضّلة عادةً	آلية القطع	دلالة صناعية مختصرة
Pectate Lyase	البكتات والبكتين منخفض الأسترة	β-elimination مع تكوين نواتج غير مشبعة	مناسب عندما تكون البكتات سببًا في اللزوجة أو العكارة أو التصاق الألياف [1]
Pectin Lyase	البكتين الأعلى أسترة نسبيًا	β-elimination أيضًا، لكن على ركيزة أكثر أسترة	قد يكون أكثر ملاءمة لبعض المواد الغنية بالبكتين المستر [5]
Polygalacturonase	سلاسل الجالاكتورونان	تحلل مائي للرابطة الغليكوسيدية	يخفض طول السلسلة عبر آلية مختلفة وقد يُستخدم ضمن خلطات بكتيناز [2]
Pectin Methylesterase	البكتين المستر	إزالة مجموعات الميثيل لا قطع السلسلة مباشرة	يغيّر درجة الأسترة وقد يهيئ البكتين لإنزيمات أخرى [7]

الفارق بين هذه الإنزيمات ليس أكاديميًا فقط. في ترويق العصائر، اختيار إنزيم يستهدف الشكل الصحيح من البكتين يحدد سرعة انخفاض اللزوجة وسهولة فصل الجسيمات؛ وفي الألياف، يحدد مدى تفكيك الصمغ البكتيني مع الحد من التأثير غير المرغوب على المكوّنات البنيوية الأخرى [8].

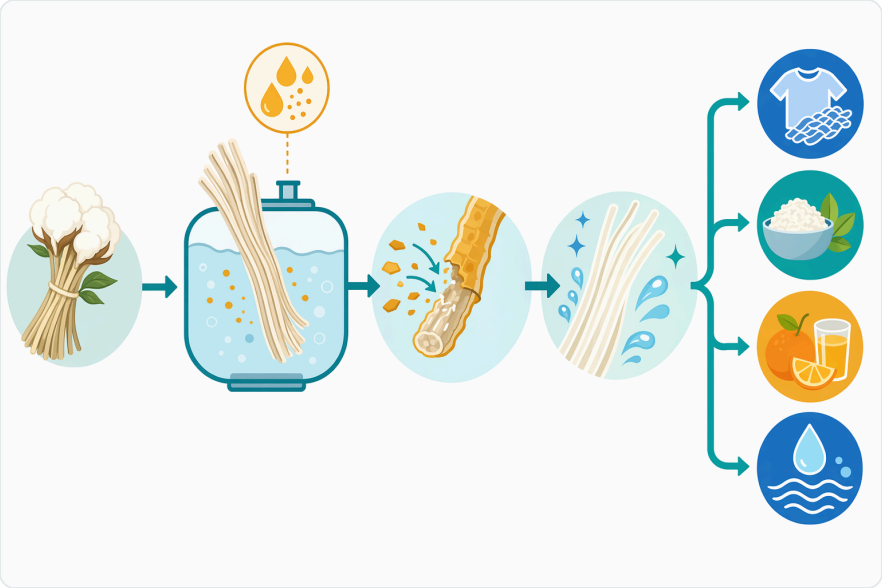

Figure 2. 산업용 펙테이트 분해효소는 약알칼리성 공정 조건에서 식물 재료 .의 펙틴성 물질을 제거한다

الأدلة العلمية على الخصائص الصناعية

تؤكد دراسات عديدة أن Pectate Lyase يحظى باهتمام صناعي بسبب قابليته للعمل في أوساط تميل إلى القلوية أو الحرارة أو تغيرات pH، بحسب مصدر الإنزيم وبنيته. على سبيل المثال، وُصفت إنزيمات قلوية من **Bacillus amyloliquefaciens** لأغراض صناعية، مع تركيز على الثبات عبر ظروف عملية متباينة [1].

كما دُرست إنزيمات من **Paenibacillus** لتحسين الثبات الحراري أو تعديل الخصائص البنيوية، وهو اتجاه مهم لأن التطبيقات الصناعية لا تعتمد على النشاط اللحظي فقط، بل على احتفاظ الإنزيم بوظيفته أثناء التعرض لمواد خام معقدة ووسط تشغيل متغير [4].

تأتي الفطريات أيضًا ضمن مصادر Pectate Lyase المهمة. فقد وُصف إنزيم من **Aspergillus luchuensis var. saitoi** بأنه ثابت حراريًا، كما دُرس إنزيم **AnPL9** من **Aspergillus nidulans** من ناحية الخصائص الكيميائية الحيوية، ما يوسع فهم التنوع البنيوي والوظيفي لهذه المجموعة [9].

من جهة أخرى، تُظهر إنزيمات منشؤها كائنات محبة للحرارة أو ذات نشاط قلوي أن المجال التطبيقي لا يقتصر على الأغذية. إنزيمات مثل Pectate Lyase من **Caldicellulosiruptor bescii** دُرست من منظور بنيوي وكيميائي حيوي لتطبيقات التحضير الحيوي للأقمشة، وهو دليل على صلة الآلية نفسها بتطبيقات النسيج المستدامة [5].

ترويق العصائر: لماذا يخفف Pectate Lyase العكارة واللزوجة؟

في العصائر والمستخلصات النباتية، يمكن للبكتين أن يشكل شبكة غروية تحبس الجسيمات الدقيقة وتمنع ترسيبها أو ترشيحها بسهولة. عندما يقطع Pectate Lyase المناطق البكتاتية، تصبح السلاسل أقصر وأقل قدرة على ربط الماء وتثبيت المعلّقات، ما يساعد على تحسين الانسيابية ووضوح السائل بعد خطوات الفصل المناسبة [8].

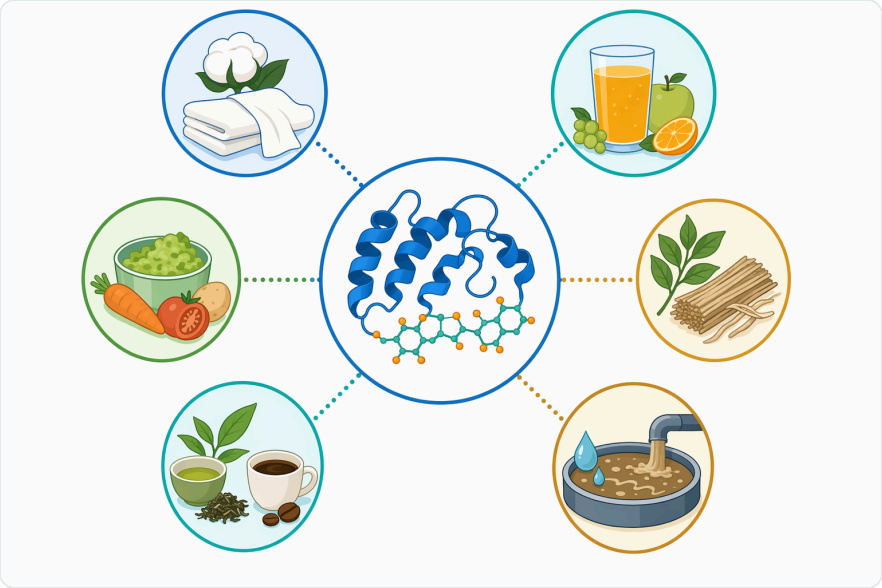

Figure 3. 펙테이트 분해효소는 섬유 바이오정련, 식품 가공, 식물 섬유 처리 .및 펙틴이 풍부한 폐수 관리에 사용된다

دراسة حديثة على Pectate Lyase نشط عند حرارة منخفضة من بكتيريا بحرية ربطت الإنزيم مباشرة بترويق عصير البرتقال، وهو مثال على اهتمام الباحثين بإنزيمات قادرة على العمل في ظروف ألطف على خصائص المنتج الحسية. هذا النوع من التطبيقات مهم لأن العصائر ليست مجرد وسط كيميائي؛ فهي أنظمة غذائية حساسة للنكهة، واللون، والمركبات الطيّارة [8].

ترويق العصير لا يعني دائمًا جعل السائل شفافًا تمامًا، بل تقليل دور البكتين في العكارة أو اللزوجة وفق هدف المنتج. في بعض المنتجات، المطلوب تحسين الترشيح أو الاستقرار، بينما في أخرى قد يكون الحفاظ على قوام جزئي مرغوبًا؛ لذلك يُفهم Pectate Lyase كأداة لضبط البنية البكتينية، لا كحل واحد لجميع أنماط المشروبات النباتية [7].

تطبيقات القطن: التحضير الحيوي Bio-scouring

في القطن الخام أو شبه المعالج، توجد مكوّنات غير سليلوزية على سطح الألياف، منها البكتين والشموع وبقايا الجدار الخلوي. الهدف من **bio-scouring** هو تحسين البلل والتحضير للصباغة أو التشطيب بطريقة أكثر انتقائية من المعالجات القلوية القاسية، ويُعد Pectate Lyase من الإنزيمات المحورية في استهداف المكوّنات البكتينية تحديدًا [3].

أظهرت دراسة عن الإنتاج خارج الخلوي لإنزيم Pectate Lyase قلوي وتطبيقه في التحضير الحيوي للقطن أن الإنزيم يمكن أن يكون جزءًا من عملية نسيجية موجهة لإزالة البكتين. الأثر العملي المتوقع هو تحسين قابلية الماء للوصول إلى سطح الألياف وتقليل عوائق المعالجة اللاحقة، مع بقاء الأداء مرتبطًا بتركيب القماش وخطوات العملية [3].

كما تناولت دراسات تصميم العوامل في bioscouring تفاعل متغيرات العملية مع نشاط Pectate Lyase، ما يؤكد أن النتيجة لا تتحدد بالإنزيم وحده. طبيعة القطن، المواد المساعدة، زمن التلامس، وحالة الوسط كلها عناصر تؤثر في مدى إزالة البكتين وفي الحفاظ على خصائص النسيج النهائية [10].

إزالة صمغ الرامي والألياف النباتية

ألياف الرامي من الأمثلة الكلاسيكية على المواد النباتية التي تحتوي على صموغ وبكتينات تربط الحزم الليفية وتجعل الفصل الميكانيكي والمعالجة اللاحقة أكثر صعوبة. يعمل Pectate Lyase هنا على إضعاف المكوّن البكتيني الرابط، ما يسهل فصل الألياف دون الاعتماد الكامل على معالجة كيميائية شديدة [6].

Figure 4. 기존의 알칼리 정련과 비교해, 펙테이트 분해효소를 이용한 바이오 정련은 섬유 품질을 보존하면서 화학적 처리 강도를 낮출 수 있다.

تُظهر دراسات تحسين ثبات Pectate Lyase وتطبيقه المحتمل في إزالة صمغ الرامي أن التحدي الصناعي ليس فقط "قدرة الإنزيم على القطع"، بل بقاؤه فعالًا بما يكفي داخل وسط يحتوي على ألياف ومكوّنات نباتية متداخلة. لذلك تركز الأبحاث على الهندسة البنيوية أو التحسين البروتيني عندما تكون ظروف التطبيق أكثر إجهادًا للإنزيم [6].

كما وُصف Pectate Lyase من **Paenibacillus tarimensis** مع تطبيق أولي في إزالة صمغ الرامي، ما يدعم الاتجاه العام نحو اختيار إنزيمات متخصصة بحسب نوع الألياف. هذه الأدلة تشير إلى أن الرامي ليس مجرد تطبيق جانبي، بل مجال عملي واضح لإنزيمات تفكيك البكتات [11].

معالجة المواد النباتية ومخلفات الفاكهة

قشور الحمضيات ومخلفات الفاكهة والخضار غنية غالبًا بالبكتين، ما يجعلها مواد صعبة المعالجة أحيانًا بسبب اللزوجة والقدرة على تكوين هلام أو معلقات مستقرة. عزل بكتيريا منتجة للبكتيناز من قشور الحمضيات ودراسة Pectate Lyase مؤتلف ذي إمكانات تطبيقية يوضحان صلة الإنزيم بمسارات تثمين المخلفات النباتية [7].

في هذا السياق، يمكن استخدام Pectate Lyase لتعديل بنية المواد البكتينية قبل خطوات لاحقة مثل الفصل، الاستخلاص، أو التحويل الحيوي. لكن نجاح التطبيق يعتمد على ما إذا كانت المشكلة ناتجة فعلًا عن البكتات أو البكتين منخفض الأسترة، وعلى ما إذا كانت المكوّنات الأخرى في المخلف—مثل السليلوز، الهيميسليلوز، البروتينات أو الفينولات—تتطلب إنزيمات أو معالجة إضافية [5].

لماذا تختلف إنزيمات Pectate Lyase بين المصادر؟

دراسات عديدة تشير إلى أن مصدر الإنزيم يغيّر سلوكه. إنزيم من كائن مفرط المحبة للحرارة مثل **Thermotoga maritima** دُرس باعتباره Pectate Lyase حراري النشاط من عائلة محددة، بينما إنزيمات من **Bacillus** أو **Paenibacillus** غالبًا ما تُبحث لملاءمتها للتطبيقات القلوية أو النسيجية [12].

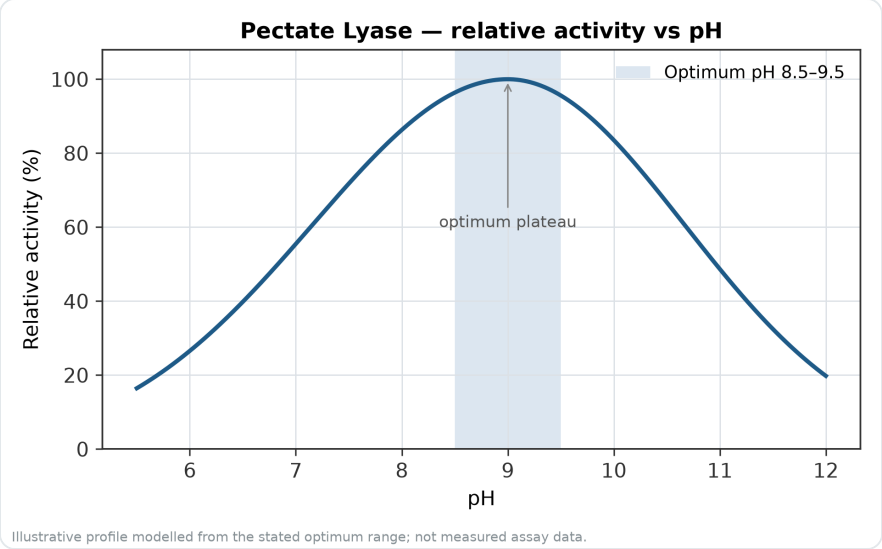

Figure 5. pH에 따른 펙테이트 분해효소의 상대 활성으로, pH 8.5–9.5에서 최적 활성 구간이 나타난다.

هذا التنوع يعود إلى اختلافات في تسلسل الأحماض الأمينية، شكل الموقع النشط، القدرة على ربط الكالسيوم أو الركيزة، وثبات الطي البروتيني. حتى عندما تشترك الإنزيمات في اسم Pectate Lyase، فقد يختلف نمط القطع، وتحمل الوسط، والملاءمة لتطبيق العصائر أو الألياف أو المخلفات النباتية [13].

الهندسة البروتينية تؤكد هذه النقطة. فقد استخدمت دراسات التصميم العقلاني والاستبدال في الحلقات البنيوية لتحسين الثبات أو تعديل الخصائص المثلى لإنزيمات Pectate Lyase، ما يعني أن الخصائص الصناعية قابلة للتأثر بتغييرات دقيقة في البنية، وليست صفة ثابتة لجميع الإنزيمات التي تحمل الاسم نفسه [14].

اعتبارات الوسط: الحموضة، الأيونات، والمادة الخام

تميل كثير من Pectate Lyases الصناعية الموصوفة إلى الأداء في أوساط قلوية أو قريبة منها، لكن ذلك لا يعني أن كل منتج أو كل إنزيم يعمل بالطريقة نفسها. دراسات اختيار إنزيمات **Bacillus** المحبة للقلوية بناءً على التفاعلية والثبات المعتمد على pH توضح أن ملاءمة الوسط عامل حاسم في التقييم الصناعي [13].

الكالسيوم عنصر متكرر في وصف نشاط أو ثبات بعض Pectate Lyases، لأن البنية التحفيزية في عدد من هذه الإنزيمات تستفيد من الأيونات المعدنية في تموضع الركيزة أو تثبيت الحالة الانتقالية. لذلك قد تؤثر العوامل المخلبة، وتركيب الأملاح، وعسر الماء أو مكوّنات المادة الخام في الأداء الفعلي للإنزيم [2].

كما أن المواد الخام النباتية ليست "ركيزة نقية". العصير يحتوي على أحماض عضوية وسكريات وفينولات وجسيمات غروية، بينما الألياف تحتوي على شمع ولجنين وهيميسليلوز وبروتينات جدارية. هذه المصفوفة المعقدة قد تحجب البكتات أو تغيّر إمكانية وصول الإنزيم إليها، ولذلك يُنظر إلى Pectate Lyase ضمن سياق عملية كاملة لا ضمن تفاعل مخبري منفصل [10].

السلامة الحيوية والتمييز بين الإنزيم والكائن المنتج

من المهم التمييز بين الإنزيم المنقّى أو المحضّر للاستخدام الصناعي وبين الكائنات الدقيقة التي تنتجه في الطبيعة. بعض البكتيريا النباتية الممرضة، مثل أنواع **Erwinia** أو **Pectobacterium**، تنتج Pectate Lyases لتفكيك جدران الخلايا النباتية أثناء الإصابة، وهذا يشرح قوة الإنزيم في تفكيك البكتات لكنه لا يعني أن المنتج التجاري يحتوي على هذه الكائنات [15].

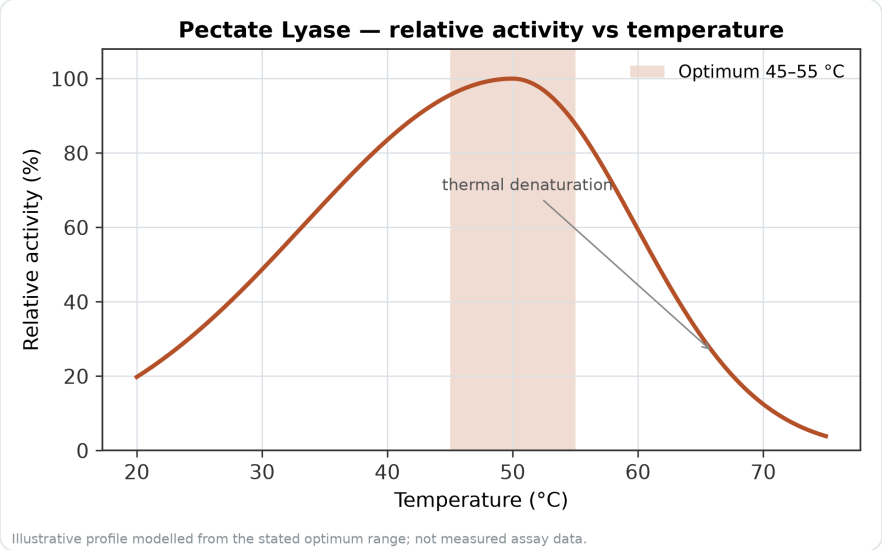

Figure 6. 온도에 따른 펙테이트 분해효소의 상대 활성으로, 45–55°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열변성으로 인한 전형적인 활성 감소가 나타난다.

دراسات تنظيم جينات pectate lyase في **Erwinia chrysanthemi** و**Erwinia carotovora** توضح أن إنتاج الإنزيم في الممرضات النباتية يخضع لشبكات تنظيمية مرتبطة بتوفر البكتات وبعوامل ضراوة أخرى. هذه الأدلة مفيدة لفهم الوظيفة البيولوجية للإنزيم، لكنها تختلف عن استخدام إنزيم مخصص للتطبيق الصناعي في الغذاء أو النسيج [16].

كذلك، تُظهر تقارير أمراض البطاطس المرتبطة بـ **Pectobacterium carotovorum** أن إنزيمات تفكيك البكتين جزء من آلية العفن الطري في النبات. الدلالة التقنية هنا هي أن تفكيك البكتات يضعف تماسك النسيج النباتي، وهي الآلية نفسها التي تُستغل صناعيًا بشكل مضبوط ومحدود عند معالجة مواد نباتية [17].

فوائد استخدام Pectate Lyase عند توافقه مع العملية

عندما تكون الركيزة غنية بالبكتات أو البكتين منخفض الأسترة، يمكن لـ Pectate Lyase أن يحقق فوائد واضحة: تقليل اللزوجة، تسهيل الترشيح، تحسين الترويق، دعم فصل الألياف، والمساعدة في إزالة المواد الصمغية النباتية. هذه الفوائد ناتجة مباشرة من تقصير السلاسل البكتينية وإضعاف قدرتها على تكوين شبكات أو تثبيت الجسيمات [1].

في العصائر، يمكن أن يدعم الإنزيم خطوات الفصل اللاحقة عبر تقليل أثر البكتين على القوام والعكارة. وفي القطن والرامي، يمكن أن يقلل اعتماد العملية على التفكيك الكيميائي الشديد للمكوّنات غير السليلوزية، مع الحفاظ على هدف المعالجة الانتقائية للمكوّنات البكتينية [3].

ومع ذلك، لا ينبغي تحويل هذه الفوائد إلى وعود عامة. إذا كانت العكارة ناتجة عن بروتينات أو نشا أو زيوت أو جسيمات معدنية، فلن يكون Pectate Lyase وحده هو العامل الحاسم. وإذا كان تماسك الألياف ناتجًا أساسًا عن اللجنين أو الهيميسليلوز، فقد يكون مطلوبًا نظام إنزيمي أو معالجة مكمّلة [5].

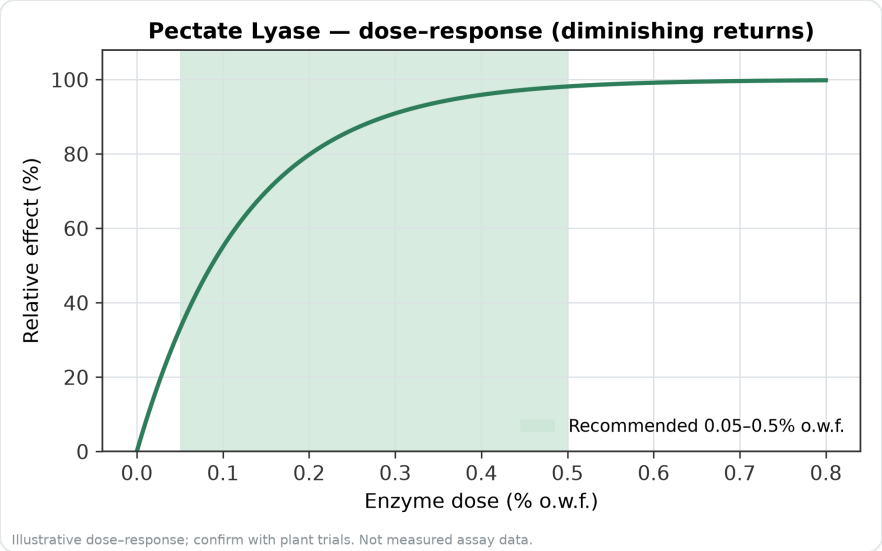

Figure 7. 권장 사용 범위(섬유 중량 대비 0.05–0.5%)에서 펙테이트 분해효소의 예시적 용량-반응 관계.

حدود الاستخدام وما لا يفعله الإنزيم

لا يعمل Pectate Lyase كإنزيم شامل لكل مكوّنات الجدار النباتي. فهو لا يستهدف السليلوز بوصفه الركيزة الرئيسية، ولا يُعد بديلًا مباشرًا لإنزيمات السليولاز أو الهيميسليولاز أو البروتياز. قيمته تأتي من تخصصه في الروابط البكتاتية، وهذا التخصص هو مصدر قوته وحدوده في الوقت نفسه [2].

كما أن البكتين عالي الأسترة قد لا يكون الركيزة المثلى له إلا إذا تغيّرت بنيته أو استُخدمت إنزيمات أخرى بجانبه. لذلك قد تختلف النتائج بين عصير حمضي غني ببكتين مستر وقماش قطني يحتوي على بكتين سطحي أقل أسترة أو ألياف رامي غنية بالصمغ النباتي [7].

تختلف الاستجابة أيضًا بين الإنزيمات التجارية والمصادر البحثية. الدراسات المنشورة تُظهر إمكانات واسعة، لكنها لا تعني أن كل تركيبة متاحة في السوق تحمل الخصائص نفسها التي وُصفت لإنزيم بحثي معيّن. لهذا السبب تُقرأ الأدبيات كإطار لفهم الآلية والتطبيقات، بينما تُستخدم وثائق الدفعة والسلامة المرفقة مع الطلب لفهم المنتج المورّد [18].

موقع Pectate Lyase ضمن حلول المعالجة المستدامة

يرتبط الاهتمام بـ Pectate Lyase أيضًا باتجاه أوسع نحو المعالجة الحيوية الأكثر انتقائية. في النسيج، يُنظر إلى bioscouring بوصفه بديلًا أو مكمّلًا لعمليات أكثر قسوة، لأن الإنزيم يستهدف مكوّنًا محددًا بدل مهاجمة النسيج بكيمياء غير انتقائية [5].

في الأغذية، تسمح إنزيمات البكتين بضبط القوام والترويق عند شروط ألطف نسبيًا على المنتج مقارنة ببعض المعالجات الفيزيائية أو الكيميائية المكثفة. ومع ظهور إنزيمات نشطة في ظروف أكثر ملاءمة للعصائر الحساسة، يصبح Pectate Lyase خيارًا مهمًا ضمن تصميم عملية تحافظ على جودة المنتج النهائي قدر الإمكان [8].

وفي مخلفات الفاكهة والخضار، يمكن أن يسهّل تفكيك البكتات تحويل مادة لزجة أو صعبة الفصل إلى وسط أكثر قابلية للمعالجة. لكن الاستدامة هنا لا تتحقق بالإنزيم وحده؛ بل بتكامل المعالجة مع هدف واضح مثل تقليل الفاقد، تحسين الاستخلاص، أو تسهيل التحويل اللاحق [7].

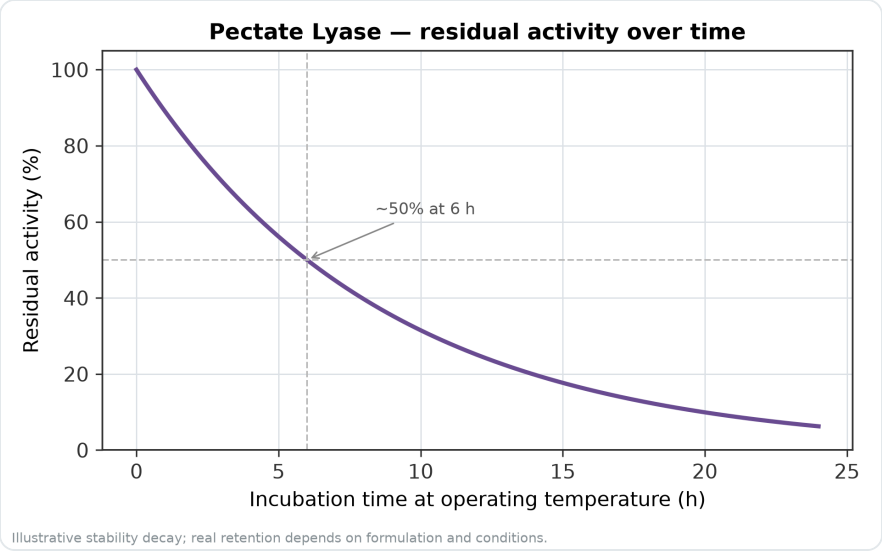

Figure 8. 작동 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소하는 펙테이트 분해효소의 예시적 열안정성 저하.

كيف تقدّم Enzymes.bio المنتج ضمن سياق B2B مسؤول؟

تقدّم **Enzymes.bio** إنزيم Pectate Lyase كمورّد عبر الإنترنت للعملاء الذين يحتاجون إلى إنزيم مخصص لتطبيقات معالجة البكتين. الشركة ليست جهة تصنيع ولا مختبر تطوير، ولذلك يركّز وصف المنتج على الوظيفة الصناعية العامة، وآلية العمل، وسياقات الاستخدام المنشورة، دون الادعاء بإنتاج الإنزيم أو إجراء أبحاثه داخليًا.

يباع المنتج مباشرة عبر الإنترنت بوحدة **1 kg**، وتُرفق **شهادة التحليل CoA** و**نشرة بيانات السلامة SDS** مع الطلب. تساعد هذه الوثائق في فهم معلومات الدفعة وتعليمات السلامة العامة، بينما تبقى ملاءمة الإنزيم لكل عملية مرتبطة بنوع المادة الخام والهدف الصناعي وتركيب الوسط.

خلاصة تقنية

إنزيم **Pectate Lyase** أداة متخصصة لتفكيك البكتات والبكتين منخفض الأسترة عبر β-elimination، ما يجعله مناسبًا لتقليل أثر البكتين على اللزوجة والعكارة وتماسك الألياف. تدعم الدراسات تطبيقه في ترويق العصائر، والتحضير الحيوي للقطن، وإزالة صمغ الرامي، ومعالجة المواد النباتية الغنية بالبكتين، مع اختلاف الأداء بحسب مصدر الإنزيم وظروف العملية [6].

أفضل فهم لهذا الإنزيم هو اعتباره جزءًا من هندسة عملية موجهة نحو مشكلة محددة: هل العائق هو بكتات ترفع اللزوجة؟ بكتين يثبت العكارة؟ صمغ نباتي يربط الألياف؟ عندما تكون الإجابة نعم، يصبح Pectate Lyase خيارًا تقنيًا منطقيًا، أما عندما تكون المشكلة ناتجة عن مكوّنات غير بكتينية، فقد يحتاج التطبيق إلى إنزيمات أو خطوات أخرى مكمّلة [10].

اطلب Pectate Lyase 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 Pectate Lyase →

المراجع

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

1. Bekli, S., Aktas, B., Gencer, D., & Aslim, B. (2019). Biochemical and Molecular Characterizations of a Novel pH- and Temperature-Stable Pectate Lyase from Bacillus amyloliquefaciens S6 for Industrial Application. *Molecular Biotechnology*, 1-13.

2. Suzuki, H., Morishima, T., Handa, A., Tsukagoshi, H., Kato, M., & Shimizu, M. (2022). Biochemical Characterization of a Pectate Lyase AnPL9 from Aspergillus nidulans. *Applied Biochemistry and Biotechnology*,

.194, 5627 - 5643

.3 Zhen, J., Tan, M., Xiao-Fu, Shu, W., Zhao, X., Yang, S., Xu, J., ... et al. (2020). High-level extracellular production of an alkaline pectate lyase in E. coli BL21 (DE3) and its application in bioscouring of cotton fabric. *3 Biotech*, .10

.4 Zhou, Z., & Wang, X. (2021). Rational design and structure-based engineering of alkaline pectate lyase from .Paenibacillus sp. 0602 to improve thermostability. *BMC Biotechnology*, 21

.5 Chen, J., Zhang, Y., Zhao, M., Zan, X., Pan, X., Zhang, C., Chen, Z., ... et al. (2025). Unraveling Structural and Biochemical Insights into a Novel Thermo-Alkaline Pectate Lyase from Caldicellulosiruptor bescii for .Sustainable Fabric Bioscouring.. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*

.6 Xu, H., Feng, X., Yang, Q., Zheng, K., Yi, L., Duan, S., & Cheng, L. (2022). Improvement on Thermostability of .Pectate Lyase and Its Potential Application to Ramie Degumming. *Polymers*, 14

.7 Guan, Y., Dong-Wang, Lv, C., Zhang, Y., Gelbič, I., & Ye, X. (2020). Archives of microbiology: screening of pectinase-producing bacteria from citrus peel and characterization of a recombinant pectate lyase with .applied potential. *Archives of Microbiology*, 202, 1005 - 1013

.8 Bai, Y., Wang, J., Yan, Y., Zhan, Y., Zhou, Z., & Lin, M. (2025). A Low-Temperature-Active Pectate Lyase from a .Marine Bacterium for Orange Juice Clarification. *Microorganisms*, 13

.9 Kamijo, J., Sakai, K., Suzuki, H., Suzuki, K., Kunitake, E., Shimizu, M., & Kato, M. (2019). Identification and characterization of a thermostable pectate lyase from Aspergillus luchuensis var. saitoi.. *Food Chemistry*, 276, . 503-510

.10 Colombi, B. L., Martins, Q., Imme, C. K., Silva, D. B. D., Valle, J. A., Andreaus, J., Arias, M., ... et al. (2021). Understanding the effects of process parameters in the bioscouring of cotton and their interactions on .pectate lyase activity by factorial design analysis. *Journal of the Textile Institute*, 113, 857 - 868

.11 Chen, Y., Huo, Y., Tang, S., Lin, Y., Zhang, X., & Zheng, S. (2025). Characterization, Modification, and Preliminary Application of a Novel Pectate Lyase from Paenibacillus tarimensis in Ramie Degumming. .*Biotechnology Journal*, 20

.12 Kluskens, L., Alebeek, G., Voragen, A., Vos, W. D., & Oost, J. (2003). Molecular and biochemical characterization of the thermoactive family 1 pectate lyase from the hyperthermophilic bacterium . Thermotoga maritima.. *Biochemical Journal*, 370 Pt 2, 651-9

.13 Agash, S. G. S., & Rajasekaran, R. (2024). Selection of alkaliphilic Bacillus pectate lyases based on reactivity and pH-dependent stability in simulated environment for industrial applications.. *Carbohydrate Research*, . 549, 109372

.14 Li, P., Wei, X., Wang, Y., Liu, H., Xu, Y., Zhang, Z., Li, J., ... et al. (2023). Improvement of optimum pH and specific activity of pectate lyase from Bacillus RN.1 using loop replacement. *Frontiers in Bioengineering and* .*Biotechnology*, 11

.15 Reverchon, S., Rouanet, C., Expert, D., & Nasser, W. (2002). Characterization of Indigoidine Biosynthetic Genes in Erwinia chrysanthemi and Role of This Blue Pigment in Pathogenicity. *Journal of Bacteriology*, 184, 654 - .665

16. Bourson, C., Favey, S., Reverchon, S., & Robert-Baudouy, J. (1993). Regulation of the expression of a pelA::uidA fusion in Erwinia chrysanthemi and demonstration of the synergistic action of plant extract with polygalacturonate on pectate lyase synthesis.. *Journal of General Microbiology*, 139 1, 1-9 .

17. Onkendi, E., Maluleke, L., & Moleleki, L. (2014). First Report of Pectobacterium carotovorum subsp. brasiliense Causing Soft Rot and Blackleg of Potatoes in Kenya.. *Plant Disease*, 98 5, 684 .

18. Maisuria, V., & Nerurkar, A. (2012). Biochemical properties and thermal behavior of pectate lyase produced by Pectobacterium carotovorum subsp. carotovorum BR1 with industrial potentials. *Biochemical Engineering Journal*, 63, 22-30

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.