البروتياز المحايد من Bacillus subtilis لتحلّل البروتينات النباتية وإنتاج متحللات بروتينية قابلة للاستخدام الصناعي

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

البروتياز المحايد من *Bacillus subtilis* إنزيم بروتيني يُستخدم لتقطيع الروابط الببتيدية داخل البروتينات النباتية، خصوصًا بروتين الصويا وكسب الصويا ومصفوفات الحبوب، بهدف تحويل البروتينات الكبيرة إلى ببتيدات أصغر أكثر ملاءمة للتشتت أو الهضم أو التخمير اللاحق. تدعم الأدبيات المنشورة وجود بروتيازات محايدة تنتجها *Bacillus subtilis* واستخدام بروتيازات من جنس *Bacillus* في تحسين تحلّل كسب الصويا وجودة منتجات غذائية مخمّرة غنية بالبروتين [1].

تعريف المنتج ودوره في معالجة البروتين النباتي

منتج **Neutral Protease Bacillus subtilis Protease — Plant Protein Hydrolysis Biological Enzyme** هو بروتياز محايد موجّه أساسًا لتطبيقات تحلّل البروتينات النباتية. في التطبيقات الصناعية، لا يُنظر إلى هذا الإنزيم باعتباره مكوّنًا تغذويًا بحد ذاته، بل كأداة معالجة حيوية تساعد على تعديل البنية الجزيئية للبروتين: تقليل حجم السلاسل، تحرير ببتيدات أقصر، وتحسين قابلية دمج البروتين في أنظمة غذائية أو علفية أو مكوّنات بروتينية وسيطة. تشير دراسات كلاسيكية إلى أن *Bacillus subtilis* يمكنها إنتاج بروتياز محايد إلى جانب إنزيمات خارج خلوية أخرى، ما يضع هذه الفئة ضمن عائلة إنزيمية ذات أساس صناعي موثق [1].

تعمل Enzymes.bio هنا كمورّد عبر الإنترنت وليست جهة تصنيع ولا مختبر اختبار. يُباع المنتج مباشرة بوحدة **1 kg**، وتُرفق مع الطلب وثيقتا **CoA** و**SDS** للدفعة المورّدة، بحيث يستخدمهما العميل كمرجع للسلامة ومعلومات الدفعة. لذلك تهدف هذه الوثيقة إلى شرح الأساس التقني والتطبيقي للبروتياز المحايد في تحلّل البروتين النباتي، من دون أن تكون بديلًا عن وثائق المنتج الرسمية أو المتطلبات التنظيمية الخاصة بكل سوق .

ما الذي يغيّره البروتياز المحايد في البروتين النباتي؟

البروتين النباتي الخام ليس كتلة غذائية متجانسة؛ فهو يتكون من سلاسل مطوية ومجمّعات بروتينية قد ترتبط بالألياف أو الكربوهيدرات أو الدهون أو الأملاح. عند إضافة البروتياز المحايد إلى وسط مائي يحتوي على بروتين، يبدأ الإنزيم بقطع روابط ببتيدية داخل السلاسل أو على أطرافها بحسب نوعية البروتياز والركيزة. النتيجة العملية هي انتقال المادة من بروتينات كبيرة قليلة الحركة إلى ببتيدات وأجزاء بروتينية أصغر، ما قد يغيّر الذوبانية واللزوجة والقوام والاستحلاب وقابلية الهضم. وقد أظهرت أعمال على بروتيازات *Bacillus subtilis* أن هذه الإنزيمات قادرة على تحلّل ركائز بروتينية مختلفة ضمن سياقات غذائية وصناعية [2].

في بروتين الصويا وكسب الصويا، يكون الهدف غالبًا هو تفكيك جزء من البنية البروتينية التي تحد من الاستفادة الغذائية أو التقنية. فالمعالجة الإنزيمية لا "تذيب" كل شيء تلقائيًا، لكنها تزيد عدد النهايات الببتيدية والمجموعات القطبية المكشوفة، ما يساعد الماء على التفاعل مع الجزيئات الناتجة. لهذا السبب تُستخدم متحللات البروتين النباتي في المشروبات عالية البروتين، المرق والصلصات، بدائل اللحوم، مكونات الأعلاف، ومكونات النكهات الناتجة عن التخمير أو المعالجة الحرارية اللاحقة. في دراسة حديثة على *Bacillus amyloliquefaciens*، أدى تحسين إنتاج البروتياز المحايد واستخدامه في تخمير كسب الصويا إلى رفع مؤشرات التحلّل وتحسين خصائص مرتبطة بقيمة كسب الصويا كمادة علفية [3].

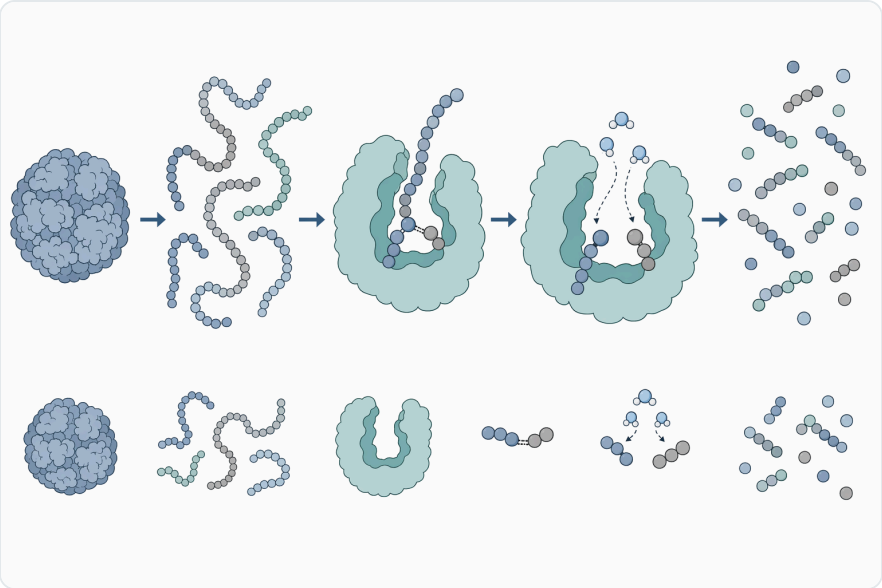

Figure 1. Bacillus subtilis 유래 중성 프로테아제는 온화한 중성에 가까운 조건에서 식물성 단백질의 펩타이드 결합을 가수분해하여 수용성 펩타이드와 아미노산을 생성한다.

لماذا يهم وصف "محايد" في البروتياز؟

مصطلح "بروتياز محايد" يشير عمليًا إلى أن الإنزيم مصمم للعمل في وسط قريب من التعادل مقارنة بالبروتيازات الحمضية أو القلوية الشديدة. هذه النقطة مهمة في البروتين النباتي لأن الوسط شديد الحموضة أو القلوية قد يغيّر اللون أو النكهة أو بنية الكربوهيدرات أو ذوبان الأملاح، وقد يفرض خطوات تعديل لاحقة. البروتياز المحايد يتيح معالجة ألطف نسبيًا، مع إمكانية دمجه في عمليات غذائية أو علفية لا تتحمل تغييرات حادة في الوسط. وقد وُثّق إنتاج البروتياز المحايد بواسطة *Bacillus subtilis* في دراسات تخمير مستمر درست تزامن إنتاج البروتيازات والإنزيمات الخارجية الأخرى [1].

ينبغي مع ذلك عدم افتراض أن كلمة "محايد" تعني أن كل الإنزيمات المتاحة تجاريًا متطابقة. فالبروتيازات تختلف في خصوصية القطع، واستقرارها في وجود الأملاح أو المركبات النباتية، وحساسيتها للمثبطات الطبيعية، ومدى ميلها لإنتاج ببتيدات قصيرة جدًا قد ترتبط بالمرارة. لهذا السبب يكون البروتياز المحايد أداة ضبط؛ فهو لا يقدّم

نتيجة واحدة ثابتة، بل يسمح بتوجيه مدى التحلّل وفق المادة الخام والهدف النهائي. في توصيف بروتياز قوي من *Bacillus subtilis*، بيّنت الدراسة أن خصائص الإنزيم العملية ترتبط بطبيعة البروتياز نفسه وبالوسط الذي يعمل فيه، لا باسم الكائن المنتج فقط [2].

الأساس الميكروبي: لماذا Bacillus subtilis؟

تُعد *Bacillus subtilis* من أكثر البكتيريا المدروسة في إنتاج الإنزيمات خارج الخلية. تمتلك هذه البكتيريا قدرة على إفراز بروتينات وإنزيمات إلى الوسط المحيط، وهي ميزة عملية لأن الإنزيم الخارجي يكون أسهل استخدامًا في معالجة الركائز مقارنة بإنزيم يبقى داخل الخلية. وقد تناولت دراسات التعبير خارج الخلوي في *Bacillus subtilis* تحسين إفراز بروتيازات عبر اختيار إشارات إفراز مناسبة، ما يوضح أهمية هذا الكائن كمنصة لإنتاج الإنزيمات الصناعية [4].

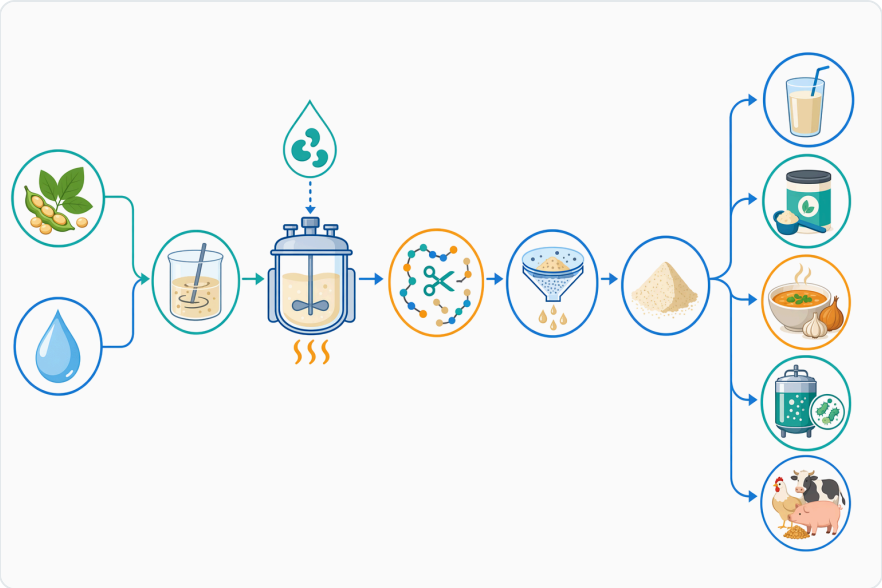

Figure 2. 산업적 식물성 단백질 가수분해 공정은 일반적으로 단백질 슬러리 제조, 중성 프로테아제 처리, 분리, 건조, 그리고 식품·사료·발효 제품용 제형화.를 포함한다

كما أن *Bacillus subtilis* لها حضور واسع في أنظمة الأغذية المخمّرة والأعلاف والمنتجات الحيوية، ليس فقط بسبب البروتياز، بل أيضًا بسبب قدرتها على إنتاج طيف من الإنزيمات والمستقلبات. في دراسة عن سلالة منتجة للسورفاكتين من *Bacillus subtilis*، تم تقييم إمكاناتها في كسب الصويا المخمّر، وهو مثال على ارتباط هذا الكائن بعمليات تحويل المواد النباتية الغنية بالبروتين إلى مصفوفات أكثر فائدة [5].

من منظور علفي، تشير مراجعات حديثة إلى أن *Bacillus subtilis* تُستخدم في الثروة الحيوانية ضمن استراتيجيات أكثر أمانًا بيئيًا، بما يشمل إضافات ومنتجات مرتبطة بتحسين الاستفادة من العلف. لا يعني ذلك أن كل إنزيم أو كل سلالة يمكن استخدامها بلا تقييم، لكنه يوضح أن جنس *Bacillus*، وخصوصًا *B. subtilis*، له موقع عملي في سلاسل القيمة المرتبطة بالبروتين النباتي والتغذية الحيوانية [6].

آلية التحلّل: من سلسلة بروتينية إلى ببتيدات وظيفية

تبدأ آلية البروتياز المحايد بارتباط موضع نشط في الإنزيم بجزء مكشوف من البروتين. في البروتينات النباتية المطوية، لا تكون كل الروابط الببتيدية متاحة؛ لذلك يعتمد التحلّل على قابلية البروتين للانتفاخ بالماء، وحالة التكتل، ووجود المعالجة المسبقة مثل الطحن أو الترطيب أو التسخين المعتدل. بعد الارتباط، يسرّع الإنزيم تفاعل التحلّل المائي للرابطة الببتيدية، أي إدخال جزيء ماء لفصل السلسلة إلى جزأين أقصر. تكرار هذه العملية ينتج خليطًا من ببتيدات بأطوال مختلفة، وهو ما يفسّر أن المنتج النهائي ليس مركبًا واحدًا بل "متحلل بروتيني" له توزيع جزيئي واسع. وقد وُصفت بروتيازات من *Bacillus subtilis* بأنها قادرة على تحلّل بروتينات مختلفة بكفاءة عملية في سياقات صناعية [2].

الأثر الوظيفي لا ينتج فقط من تقليل الحجم، بل من تغيير سطح الجزيئات. عندما تُقطع السلسلة البروتينية، تنكشف مجموعات مشحونة وأخرى كارهة للماء؛ الأولى تساعد على التفاعل مع الماء، والثانية قد تساعد في الاستحلاب أو تكوين النكهة بعد تفاعلات لاحقة. لكن زيادة الانكشاف الكاره للماء قد تساهم أيضًا في المرارة إذا أصبح التحلّل عميقًا أكثر من اللازم. لذلك تُعد إدارة زمن التفاعل ونسبة الإنزيم إلى الركيزة ومعالجة الإيقاف عوامل حاسمة في تحويل البروتين النباتي إلى متحلل عملي بدل منتج مرّ أو ضعيف القوام. في تطبيقات كسب الصويا المخمّر، ارتبط نشاط البروتياز المحايد بتحسين مؤشرات التحلّل، لكن النتيجة بقيت مرتبطة بالوسط الحيوي الكامل وليس بالإنزيم وحده [3].

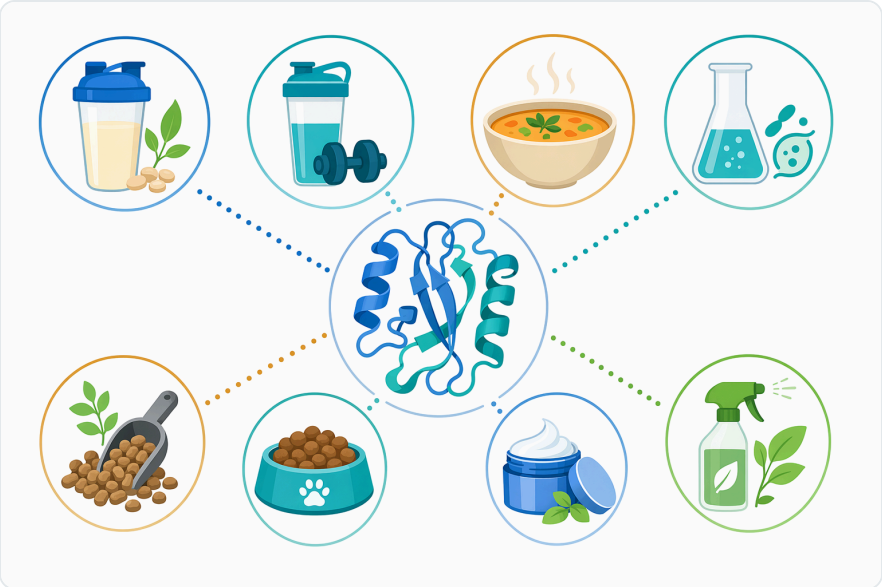

Figure 3. Bacillus 유래 중성 프로테아제는 영양, 풍미, 발효, 사료, 반려동물 식품, 화장품 및 생물자극제 용도의 식물성 단백질 가수분해물 제조에 사용된다.

مقارنة بين مسارات تعديل البروتين النباتي

توجد عدة طرق لتعديل البروتين النباتي، ولكل طريقة أثر مختلف على البنية والنكهة والتحكم الصناعي. يوضح الجدول التالي موقع البروتياز المحايد من *Bacillus subtilis* مقارنة بالمعالجات الشائعة، مع التركيز على ما يهم فرق تطوير المكونات والأغذية والأعلاف.

المسار التقني	آلية التعديل	أهم المزايا	أهم القيود	أمثلة مناسبة
التحلّل بالبروتياز المحايد	قطع إنزيمي موجّه للروابط الببتيدية في وسط قريب من التعادل	تحكم جيد في مدى التحلّل، ظروف ألطف، مناسب للبروتينات النباتية	يحتاج ضبطًا لتجنب المرارة أو فقدان القوام	متحللات الصويا، مكونات المشروبات، أعلاف عالية الهضم
التخمير بسلالات Bacillus	إنتاج إنزيمات ومركبات حيوية أثناء نمو الكائن	يجمع بين التحلّل وتغيير النكهة والمصفوفة	أكثر تعقيدًا من إضافة إنزيم منفرد	كسب الصويا المخمّر، منتجات فول الصويا التقليدية
التحلّل الكيميائي القوي	تفكيك الروابط بوسط حمضي أو قلوي شديد	سريع وقد يعطي تحلّلًا عميقًا	تحكم أقل في النكهة والانتقائية، وقد يتطلب معادلة لاحقة	استخدامات صناعية لا تتطلب انتقائية عالية
المعالجة الحرارية والميكانيكية	تفكيك تجمعات وفتح بنية البروتين دون قطع إنزيمي رئيسي	مفيدة كمعالجة مساعدة	لا تنتج ببتيدات بنفس طريقة الإنزيم	البثق، الترطيب، تحسين التشتت الأولي

تدعم الأبحاث على التخمير والمعالجة الإنزيمية لبروتين الصويا أن الجمع بين نشاط *Bacillus* والبروتين النباتي يمكن أن يغيّر خصائص المادة بصورة قابلة للقياس، سواء عبر إنزيم منفرد أو عبر تخمير كامل. لكن إضافة بروتياز محايد منفصل تمنح المصنع تحكمًا أوضح في خطوة التحلّل مقارنة بالتخمير، لأنها تفصل نشاط القطع البروتيني عن نمو الكائن وإنتاج مستقلبات أخرى [3].

تطبيقات رئيسية في بروتين الصويا وكسب الصويا

يُعد بروتين الصويا من أكثر الركائز ملاءمة لشرح قيمة البروتياز المحايد، لأنه واسع الاستخدام في الأغذية والأعلاف ويحتوي على بروتينات مخزنة كبيرة تتأثر بالتحلّل. في المكونات الغذائية، يمكن أن يساعد التحلّل الجزئي على تحسين التشتت في الماء وتقليل الإحساس بالحبوبية في بعض التركيبات، كما يمكن أن ينتج ببتيدات تُستخدم لاحقًا في تحسين النكهة أو بناء مكونات وظيفية. في الأعلاف، يركز الاستخدام غالبًا على رفع الاستفادة من كسب الصويا وتقليل القيود المرتبطة بالبروتينات الكبيرة أو المصفوفة النباتية المعقدة. وقد أظهرت دراسة تحسين البروتياز المحايد في *Bacillus amyloliquefaciens* وتطبيقه في كسب الصويا أن هذا الاتجاه البحثي مرتبط مباشرة بتحسين تخمير كسب الصويا [3].

لا يقتصر الأمر على إنزيم منفرد؛ فقد أظهرت أعمال على *Bacillus subtilis* في كسب الصويا المخمّر اهتمامًا بتحسين المصفوفة النباتية نفسها، بما في ذلك تقييم خصائص مرتبطة بالنشاط الحيوي والمزايا البروبيوتيكية المحتملة للسلالة المنتجة. هذه الدراسات لا تعني أن البروتياز التجاري يملك نفس كل خصائص السلالة الكاملة، لكنها تبيّن أن كسب الصويا بيئة تطبيقية مهمة لنشاط *Bacillus* في تحويل البروتينات النباتية [5].

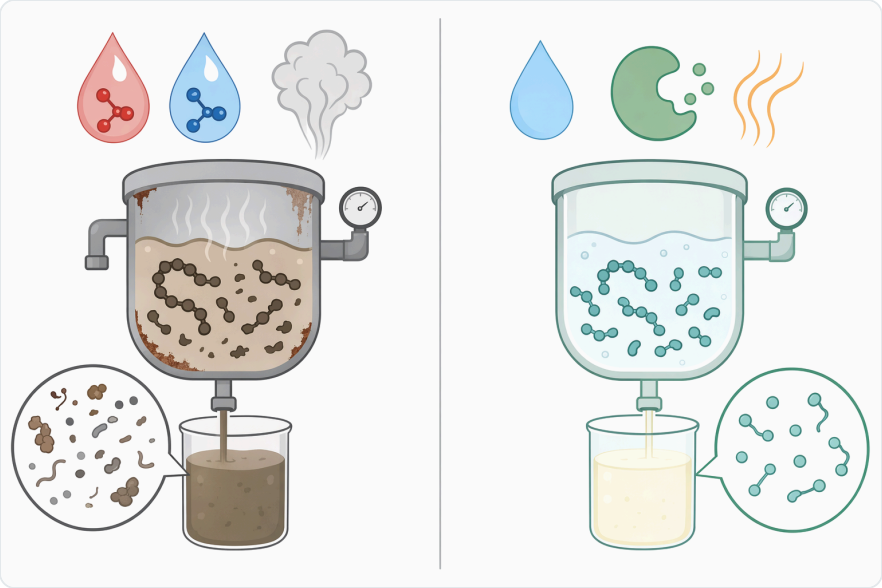

Figure 4. 산 또는 알칼리 가수분해와 비교할 때, 중성 프로테아제 공정은 더 온화한 조건에서 식물성 단백질 가수분해물의 펩타이드를 더 깨끗하게 생성 .할 수 있다

تطبيقات في الأغذية المخمّرة ومكونات النكهة

في منتجات فول الصويا المخمّرة، يكون البروتياز جزءًا من شبكة إنزيمية تغيّر البروتين والدهون والكربوهيدرات وتنتج نكهة وقوامًا مميزين. دراسة على تخمير السوفو باستخدام سلالة معدّلة من *Bacillus subtilis* منتجة للبروتياز أظهرت أن زيادة نشاط البروتياز في العملية يمكن أن يحسن جودة المنتج المخمّر، ما يربط بين تحلّل البروتين وجودة النكهة والقوام في مصفوفة غذائية حقيقية [7].

تساعد هذه النتيجة على تفسير سبب أهمية البروتياز المحايد في تطوير مكونات النكهة النباتية. فالببتيدات والأحماض الأمينية الناتجة من التحلّل يمكن أن تدخل في تفاعلات لاحقة أثناء التسخين أو التخمير، فتدعم نكهات مالحة أو محمصة أو مخمرة بحسب النظام. مع ذلك، يجب ضبط التحلّل بدقة لأن الببتيدات القصيرة والغنية ببعض الأحماض الأمينية الكارهة للماء قد تزيد المرارة. لذلك يُفضَّل النظر إلى البروتياز المحايد كمرحلة تكوين طيف ببتيدي، لا كحل تلقائي لتحسين النكهة في كل التركيبات [7].

تطبيقات في الأعلاف والتغذية الحيوانية

في الأعلاف، يكون التركيز العملي على رفع الاستفادة من البروتين النباتي وتسهيل الهضم، خصوصًا عندما تكون المادة الخام ذات محتوى ألياف أو عوامل محدِّدة للاستفادة. البروتياز المحايد يمكن أن يُستخدم لمعالجة مكونات بروتينية قبل إدخالها في الخلطة، أو ضمن عمليات تخمير علفي يكون نشاط البروتياز فيها جزءًا من التحويل. مراجعة حديثة عن آفاق استخدام *Bacillus subtilis* في الثروة الحيوانية تشير إلى أهمية هذا الكائن في أنظمة إنتاج أكثر أمانًا بيئيًا وفي منتجات متصلة بالأعلاف [6].

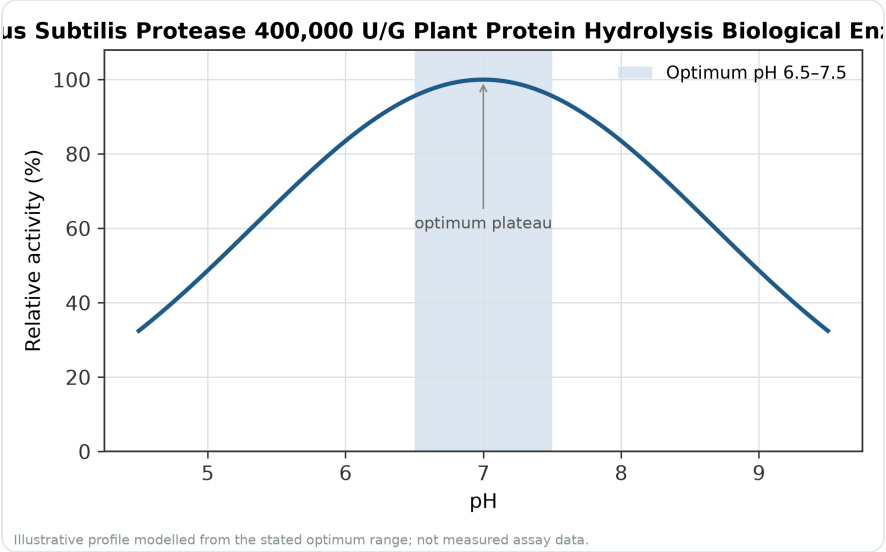

Figure 5. pH에 따른 Neutral Protease Bacillus Subtilis Protease 400,000 U/G Plant Protein Hydrolysis Biological Enzyme의 상대 활성으로, pH 6.5–7.5에서 최적 활성 구간이 나타난다.

عند تحلّل كسب الصويا جزئيًا، قد تصبح بعض البروتينات الكبيرة أسهل وصولًا لإنزيمات الجهاز الهضمي للحيوان، وقد تتحسن قابلية استعمال النيتروجين الغذائي حسب نوع الحيوان وتركيبة العلف. لكن لا ينبغي تحويل ذلك إلى ادعاء عام بأن كل متحلل سيزيد الأداء الإنتاجي؛ فالأثر يعتمد على العمر، النوع، التركيبة الكاملة، ومستوى التحلّل. الأدلة المنشورة تدعم الاتجاه التقني العام، لا نتيجة واحدة مضمونة في كل برنامج تغذية [3].

بروتياز Bacillus خارج البروتين النباتي: ماذا نستفيد؟

رغم أن التطبيق الرئيسي هنا هو تحلّل البروتينات النباتية، فإن بروتيازات *Bacillus* تُستخدم في قطاعات صناعية متعددة، ما يوضح قوة هذه العائلة الإنزيمية. على سبيل المثال، دُرس بروتياز قلوي من كائن بحري محب للقلوية في نزع الشعر الإنزيمي في صناعة الجلود كبديل أكثر ملاءمة بيئيًا للمعالجات الكيميائية القاسية [8]. هذا المثال لا يعني أن المنتج الحالي مخصص للجلود، لكنه يوضح لماذا تعتمد الصناعة على البروتيازات: لأنها تقطع البروتين بطريقة قابلة للتوجيه، وتستبدل جزئيًا عمليات كيميائية أشد قسوة.

كذلك بيّنت دراسات إنتاج الإنزيمات من مخلفات زراعية صناعية بواسطة سلالات *Bacillus subtilis* أن هذه البكتيريا يمكن أن تكون مصدرًا لعدة إنزيمات، بما يعزز دورها في الاقتصاد الحيوي وتحويل المواد منخفضة القيمة إلى نشاط إنزيمي مفيد [9]. بالنسبة للمستخدم الصناعي، تعني هذه الخلفية أن البروتياز المحايد ليس تقنية منعزلة، بل جزء من منظومة إنزيمية أوسع تُستخدم لتحويل البروتينات والكربوهيدرات والمواد الحيوية بوسائل ألطف.

ما النتائج التي يمكن توقعها بصورة واقعية؟

أول نتيجة واقعية هي تحسين قابلية التشتت أو الذوبان في بعض البروتينات النباتية، خصوصًا عندما تكون المشكلة ناجمة عن سلاسل كبيرة أو تجمعات بروتينية. التحلّل الجزئي يزيد عدد الجزيئات الأصغر ويقلل ميل بعض البروتينات إلى الترسيب، لكنه قد لا يعالج مشكلات ناتجة عن الألياف أو الدهون أو الأملاح وحدها. لذلك قد يحتاج البروتياز إلى معالجة مساعدة مثل ترطيب جيد، خلط كافٍ، أو فصل ميكانيكي بحسب النظام. وتدعم الدراسات على بروتيازات *Bacillus subtilis* فكرة أن خصائص الإنزيم والوسط تحدد الأداء النهائي وليس اسم الإنزيم وحده [2].

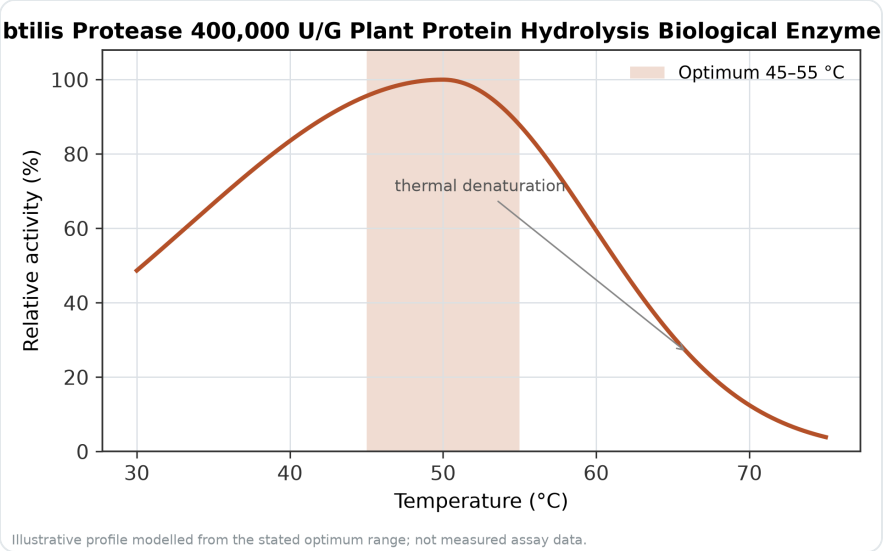

Figure 6. 온도에 따른 Neutral Protease Bacillus Subtilis Protease 400,000 U/G Plant Protein Hydrolysis Biological Enzyme의 상대 활성으로, 45–55°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열변성에 따른 특징적인 활성 감소가 나타난다.

النتيجة الثانية هي تعديل القوام. في المشروبات أو المخاليط عالية البروتين، قد يؤدي تقطيع البروتين إلى تقليل اللزوجة أو تحسين نعومة الفم، بينما في أنظمة أخرى قد يقلل القدرة على تكوين شبكة بروتينية إذا كان التحلّل عميقًا. لذلك يختلف الهدف بين منتج وآخر: متحلل بروتين للشرب يحتاج سلوكًا مختلفًا عن بروتين مخصص لقوام بدائل اللحوم. هذا يفسر لماذا يجب ربط استخدام البروتياز المحايد بالوظيفة المطلوبة، وليس فقط بزيادة التحلّل [7].

النتيجة الثالثة هي دعم التخمير أو التفاعل اللاحق. الببتيدات والأحماض الأمينية الناتجة يمكن أن تصبح ركائز للميكروبات النافعة أو لتكوين نكهات عند المعالجة الحرارية. وقد أظهرت دراسات السوفو أن نشاط البروتياز في تخمير بروتينات الصويا يرتبط بجودة المنتج النهائي، ما يجعل البروتياز أداة ذات قيمة في الأغذية المخمّرة ومكونات النكهة النباتية [7].

حدود الأدلة العلمية وتجنب المبالغة

الأدلة قوية في إثبات أن *Bacillus subtilis* قادرة على إنتاج بروتيازات، وأن بروتيازات من جنس *Bacillus* يمكنها تحلّل بروتينات نباتية مثل كسب الصويا وتحسين مؤشرات مرتبطة بالاستخدام الغذائي أو العلفي. لكن الأدبيات لا تسمح بتعميم نتيجة واحدة على كل البروتينات النباتية، لأن بروتين البازلاء أو الأرز أو القمح أو الصويا يختلف في البنية، ونسبة الجلوبيولين أو الألبومين أو الغلوتيلين، ووجود البوليفينولات أو الألياف أو الأملاح. لهذا يجب قراءة الدراسات كدليل على المبدأ وليس كضمان أداء موحّد [3].

كذلك ينبغي الحذر من الادعاءات الصحية. إنتاج ببتيدات أصغر لا يعني تلقائيًا أن المنتج النهائي يملك فائدة صحية مثبتة للمستهلك، ولا يعني إزالة مسببات الحساسية أو مضادات التغذية بالكامل. قد يؤدي التحلّل إلى تقليل بعض البنى البروتينية أو تحسين الهضم في نظام معين، لكن إثبات الأثر الصحي أو التنظيمي يحتاج بيانات خاصة بالتطبيق النهائي. لذلك يكون الاستخدام الأكثر دقة للبروتياز المحايد هو وصفه كإنزيم معالجة للبروتين النباتي، لا كعلاج غذائي أو مكوّن صحي مستقل [6].

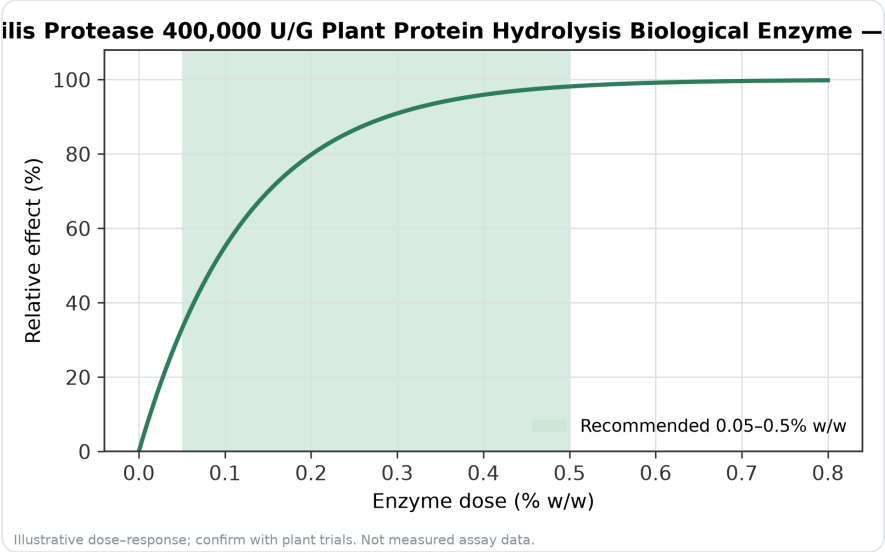

Figure 7. 권장 사용 범위(0.05–0.5% w/w)에서 Neutral Protease Bacillus Subtilis Protease 400,000 U/G Plant Protein Hydrolysis Biological Enzyme의 예시적 용량-반응 관계.

اعتبارات الصياغة والتشغيل في بيئة B2B

عند إدخال البروتياز المحايد في عملية صناعية، يجب النظر إلى ثلاث طبقات: الركيزة، والوسط، والهدف النهائي. الركيزة تشمل نوع البروتين، المعالجة السابقة، نسبة المواد غير البروتينية، وحالة الجسيمات. الوسط يشمل الحموضة القريبة من التعادل، الملوحة، وجود السكريات أو الدهون أو المعادن، وكفاءة الخلط. الهدف النهائي يحدد مدى التحلّل المطلوب: تحسين تشتت خفيف، إنتاج ببتيدات وظيفية، دعم تخمير، أو تجهيز مكوّن علفي. أظهرت دراسات إنزيمات *Bacillus subtilis* أن أداء البروتياز يرتبط بهذه العوامل المتداخلة، لذلك لا تكفي معرفة مصدر الإنزيم وحدها [2].

من المهم أيضًا إيقاف النشاط أو تقليله عند الوصول إلى النتيجة المطلوبة، لأن استمرار التحلّل قد يحوّل التحسين إلى عيب حسي أو تقني. في المنتجات السائلة، قد تظهر مرارة أو ترقق زائد؛ وفي المنتجات البروتينية الهيكلية، قد يضعف تماسك الشبكة. لذلك يُدمج البروتياز عادةً في نافذة معالجة محددة، ثم تُستكمل العملية وفق تصميم المنتج. هذا المبدأ واضح في الأغذية المخمّرة مثل السوفو، حيث يجب أن يكون نشاط البروتياز جزءًا من توازن كامل بين التحلّل والنكهة والقوام [7].

السلامة والامتثال ووثائق الدفعة

بما أن Enzymes.bio ليست جهة تصنيع ولا مختبرًا، فإن الوثائق المرفقة مع الطلب هي المرجع المباشر للدفعة المستلمة. توفر **CoA** معلومات الدفعة ذات الصلة، بينما توفر **SDS** إرشادات السلامة والتعامل والتخزين والنقل. يجب على المستخدم النهائي التأكد من ملاءمة الإنزيم للتطبيق المقصود وفق قوانين بلده ومتطلبات قطاعه، خصوصًا عند استخدامه في الأغذية أو الأعلاف أو المكونات التي تدخل سلسلة التوريد الاستهلاكية .

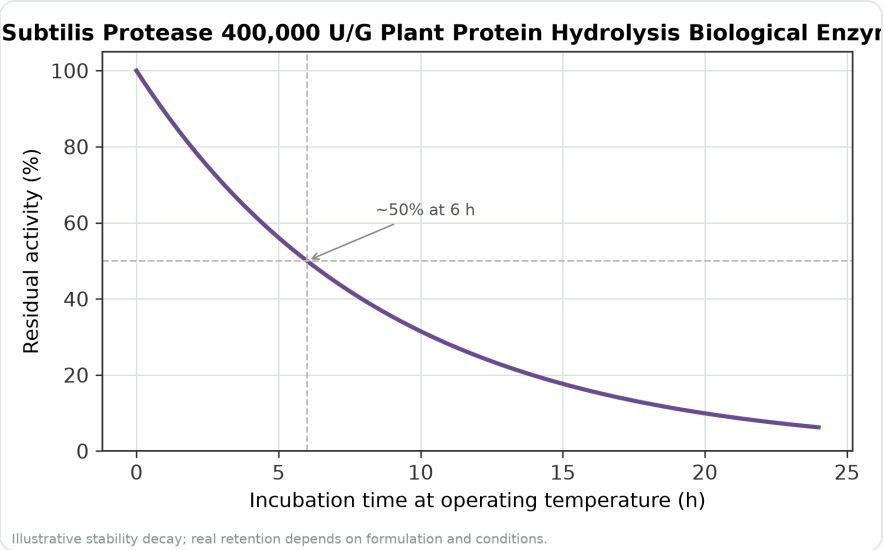

Figure 8. 운전 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소하는 Neutral Protease Bacillus Subtilis Protease 400,000 U/G Plant Protein Hydrolysis Biological Enzyme의 예시적 열 안정성 감소.

كما يجب التعامل مع الإنزيمات البروتينية عمومًا باعتبارها مواد فعالة حيويًا يمكن أن تسبب تهيجًا أو تحسسًا مهنيًا عند سوء المناولة، خصوصًا في صورة مساحيق. لذلك تُقرأ تعليمات السلامة الخاصة بالدفعة قبل الاستخدام، وتُطبق ممارسات المناولة الصناعية المناسبة داخل منشأة العميل. هذا لا يتعلق بالبروتياز المحايد وحده، بل بطبيعة الإنزيمات الصناعية كمواد نشطة تتطلب ضبطًا في بيئة العمل .

خلاصة تقنية

البروتياز المحايد من *Bacillus subtilis* أداة عملية لتحلّل البروتينات النباتية، خاصة بروتين الصويا وكسب الصويا ومكونات الأغذية والأعلاف التي تحتاج إلى تعديل الذوبانية أو القوام أو قابلية الهضم أو دعم التخمير. تدعم الأدبيات وجود بروتياز محايد من *Bacillus subtilis*، كما تدعم دراسات حديثة على بروتيازات *Bacillus* دورها في

تحسين تحويل كسب الصويا وجودة الأغذية المخمّرة الغنية بالبروتين [1].

القيمة الأساسية للإنزيم ليست في "زيادة التحلّل" بشكل مطلق، بل في إنتاج مدى مناسب من الببتيدات يخدم وظيفة محددة: مشروب أكثر تشتتًا، مكوّن علفي أكثر قابلية للاستخدام، أو قاعدة نباتية أكثر ملاءمة للتخمير والنكهة. ويظل الأداء النهائي مرتبطًا بالمادة الخام والوسط وتصميم العملية، بينما تبقى وثائق **CoA** و**SDS** المرفقة مع طلب Enzymes.bio المرجع العملي للدفعة الموزّدة .

اطلب Neutral Protease Bacillus Subtilis Protease 400,000 U/G Plant Protein Hydrolysis Biological Enzyme 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 Neutral Protease Bacillus Subtilis Protease 400,000 U/G Plant Protein Hydrolysis Biological Enzyme →

المراجع

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

1. Heineken, F. G., & O'Connor, R. (1972). Continuous culture studies on the biosynthesis of alkaline protease, neutral protease and -amylase by Bacillus subtilis NRRL-B3411.. *Journal of General Microbiology*, 73 1, 35-44 .
2. Singh, S., Gupta, P., & Bajaj, B. (2018). Characterization of a robust serine protease from Bacillus subtilis K-1. *Journal of Basic Microbiology*, 58, 88 - 98
3. Zhu, Y., Huang, X., Han, T., Wang, J., Yu, X., & Ma, Z. (2025). Improvement of neutral protease activity of Bacillus amyloliquefaciens LX-6 by combined ribosome engineering and medium optimization and its application in soybean meal fermentation. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 26, 805 - 812.
4. Miao, H., Zhe, Y., Xiang, X., Cao, Y., Han, N., Wu, Q., & Huang, Z. (2022). Enhanced Extracellular Expression of a Ca2+- and Mg2+-Dependent Hyperthermostable Protease EA1 in Bacillus subtilis via Systematic Screening of Optimal Signal Peptides.. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70 50, 15830-15839 .
5. Dai, C., Shu, Z., Ma, C., Yan, P., Huang, L., He, R., & Ma, H. (2024). Isolation of a surfactin-producing strain of Bacillus subtilis and evaluation of the probiotic potential and antioxidant activity of surfactin from fermented soybean meal.. *The Journal of the Science of Food and Agriculture*.
6. Tertychna, O. V., Kravchenko, N., Krapyvnyi, O. V., & Yakymovych, M. (2025). PROSPECTS FOR THE USE OF BACILLUS SUBTILIS IN ENVIRONMENTALLY SAFE LIVESTOCK FARMING (a review). *Agriciltural microbiology*.
7. Xu, J., Hou, A., Li, W., Chen, B., Wu, H., Tan, H., Xiao, Z., ... et al. (2025). Assisted Fermentation by a Modified Bacillus subtilis Strain Producing Protease Improved the Quality of Sufu. *Food Science & Nutrition*, 13.

8. Zhou, C., Qin, H., Chen, X., Zhang, Y., Xue, Y., & Ma, Y. (2018). A novel alkaline protease from alkaliphilic Idiomarina sp. C9-1 with potential application for eco-friendly enzymatic dehairing in the leather industry. *Scientific Reports*, 8.

9. Barros, F. C. F., Simiqueli, A. P. R., Andrade, C. J., & Pastore, G. (2013). Production of Enzymes from Agroindustrial Wastes by Biosurfactant-Producing Strains of Bacillus subtilis. *Biotechnology Research International*, 2013.

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.