

Cellulase acide liquide pour hydrolyse des fibres : biomasse, coproduits végétaux, ensilage et modification de fibres

Équipe de recherche Enzymes.bio · Wellington, Nouvelle-Zélande · June 19, 2026

La cellulase acide liquide pour hydrolyse des fibres est une préparation enzymatique destinée à déstructurer partiellement les matrices végétales riches en cellulose dans des procédés aqueux acides ou faiblement acides. Elle est utilisée pour faciliter la saccharification de biomasses prétraitées, améliorer l'accès aux composés piégés dans les parois végétales, modifier des fibres cellulosiques et soutenir certaines applications d'ensilage ou de valorisation de coproduits ^[1].

Enzymes.bio fournit ce produit en ligne par unité de 1 kg ; Enzymes.bio agit comme fournisseur en ligne, et non comme fabricant ni laboratoire. Le certificat d'analyse et la fiche de données de sécurité sont fournis avec la commande.

Comprendre la cellulase acide liquide et son rôle dans l'hydrolyse des fibres

La cellulose est un polymère structural majeur des parois végétales. Elle n'est généralement pas isolée dans les matières premières industrielles : elle est associée à l'hémicellulose, à la lignine, aux pectines, aux protéines de paroi, aux composés phénoliques et à d'autres constituants qui limitent l'accès enzymatique. C'est pourquoi la dégradation des fibres végétales ne dépend pas seulement de la présence d'une cellulase, mais aussi de l'accessibilité physique et chimique de la cellulose dans la matrice ^[2].

Une cellulase industrielle correspond le plus souvent à un système d'activités complémentaires plutôt qu'à une seule action catalytique. Les endoglucanases ouvrent les chaînes cellulosiques en coupant des liaisons internes ; les exoglucanases ou cellobiohydrolases progressent depuis les extrémités accessibles ; les bêta-glucosidases peuvent convertir certains oligosaccharides en glucose. La revue sur la synergie cellulase-xylanase souligne que la déconstruction efficace des biomasses lignocellulosiques repose souvent sur l'action combinée d'enzymes ciblant plusieurs fractions de paroi ^[1].

Le qualificatif « acide » indique l'intérêt de cette préparation pour des milieux de procédé où le pH est acide ou modérément acide. Ces conditions sont fréquentes dans les purées et coproduits de fruits, les hydrolysats de biomasse prétraitée, certains extraits botaniques, des mélanges de fibres alimentaires et des environnements d'ensilage. La forme liquide facilite l'incorporation dans une suspension, une pulpe, un bain de traitement ou une biomasse humidifiée, sans modifier le principe fondamental : l'enzyme agit à l'interface entre la phase aqueuse et la surface cellulosique disponible [3].

Pour un utilisateur B2B, l'intérêt pratique d'une cellulase acide liquide n'est donc pas de « dissoudre toute fibre » de façon indifférenciée. Son rôle est plus précis : diminuer la taille de certains segments cellulosiques, fragiliser la paroi, augmenter la surface accessible, libérer des sucres ou faciliter la séparation de fractions végétales, selon le niveau d'hydrolyse visé. Les études sur les biomasses lignocellulosiques montrent que la performance dépend fortement du prétraitement, de la composition de la matrice et de la coopération avec d'autres enzymes [4].

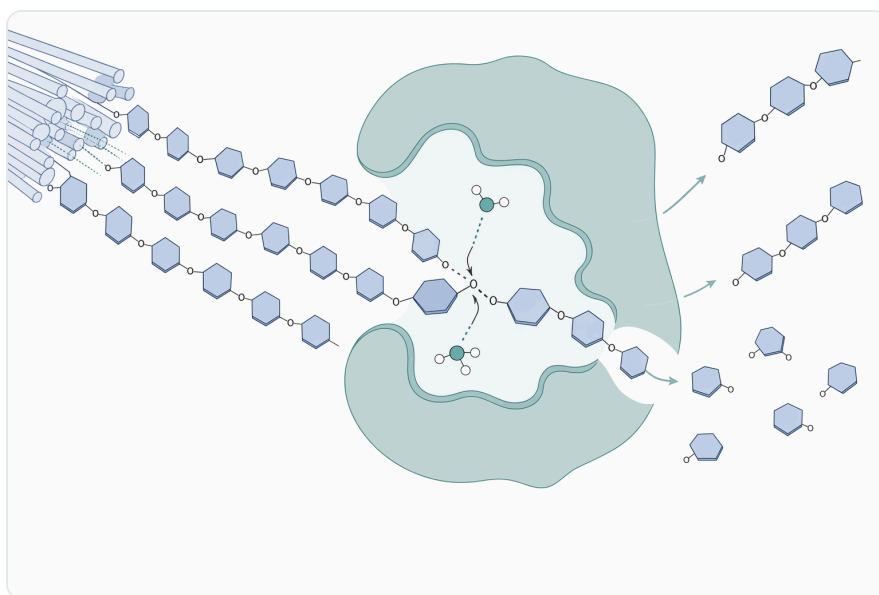


Figure 1. 산성 셀룰라아제는 셀룰로오스 섬유의 베타-1,4 글리코시드 결합을 가수분해하여 더 짧은 셀로올리고당과 포도당을 방출합니다.

Mécanisme d'action : de la paroi végétale au sucre ou à la fibre modifiée

L'hydrolyse enzymatique de la cellulose commence par l'adsorption de la cellulase sur la surface du substrat. Cette étape est essentielle : une enzyme ne peut couper efficacement que les liaisons glycosidiques qu'elle peut atteindre. Dans les tissus végétaux peu ouverts, la cellulose peut être masquée par la lignine ou enrobée par l'hémicellulose, ce qui réduit la vitesse d'hydrolyse même si l'enzyme est présente dans le milieu [5].

Après adsorption, les activités endoglucanases créent de nouveaux points d'attaque dans les zones accessibles des chaînes de cellulose. Cette fragmentation interne réduit progressivement la longueur moyenne des chaînes et peut augmenter la porosité locale de la paroi. Les cellobiohydrolases et activités associées exploitent ensuite les extrémités exposées pour libérer des fragments plus courts. Lorsque le système enzymatique contient les activités nécessaires, ces fragments peuvent être transformés en glucose, ce qui est particulièrement recherché dans la saccharification avant fermentation [1].

Dans une matière végétale réelle, la cellulose n'est pas la seule cible pertinente. Les xylanes, arabinoxylanes, pectines et autres polysaccharides de paroi forment une architecture composite. C'est la raison pour laquelle la littérature insiste sur la synergie entre cellulases et xylanases : en retirant une partie des hémicelluloses, les xylanases peuvent rendre la cellulose plus accessible, tandis que la cellulase ouvre la fraction glucanique. Cette complémentarité est centrale dans la biotechnologie industrielle des fibres [1].

Le caractère acide du procédé peut aussi avoir une importance technologique. De nombreuses matières végétales sont naturellement acides ou sont traitées dans des conditions acidifiées pour des raisons de stabilité, d'extraction ou de conservation. Une cellulase acide est donc choisie lorsque l'objectif est de conserver un environnement compatible avec la matière première et les étapes voisines du procédé, tout en permettant une hydrolyse ciblée des fibres. Les applications en ensilage illustrent bien cette logique, car la production d'acides organiques et la dégradation des fibres interagissent dans une matrice biologique complexe [6].

Pourquoi l'accessibilité de la cellulose détermine la performance

La biomasse lignocellulosique est résistante parce que sa structure est hiérarchique. Les microfibrilles de cellulose peuvent présenter des zones ordonnées, tandis que la lignine et l'hémicellulose forment une barrière autour des chaînes glucaniques. Les travaux sur la bagasse de canne à sucre pour l'éthanol de deuxième génération montrent que la production de sucres fermentescibles dépend fortement de l'association entre production ou apport de cellulases et état de prétraitement de la biomasse [4].

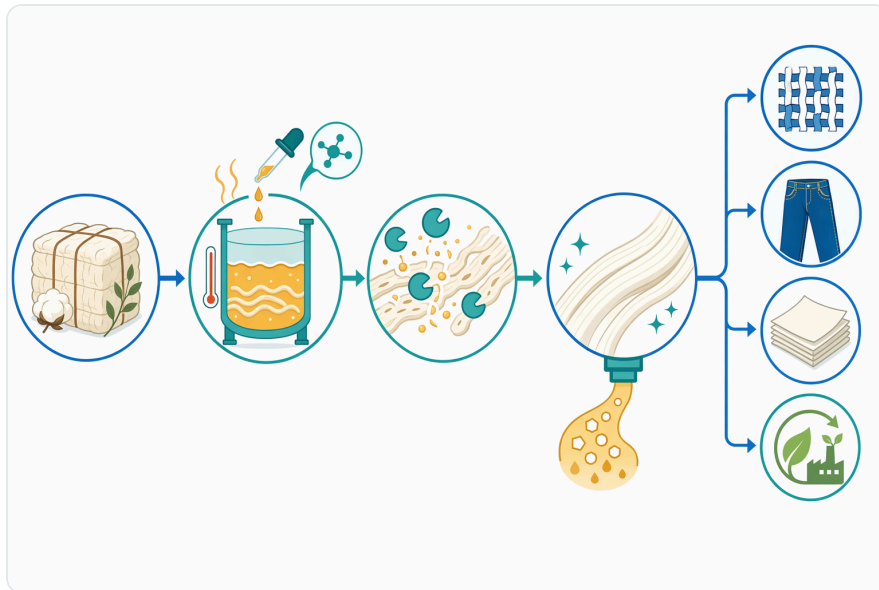


Figure 2. 산업용 섬유 가수분해 공정에서는 산성 셀룰라아제를 따뜻한 산성 욕조에 투입하여 셀룰로오스 표면을 개질하고 수용성 가수분해 산물을 방출합니다.

Les prétraitements physiques, thermiques, acides ou combinés ne sont pas seulement des étapes de préparation : ils conditionnent la surface disponible pour l'enzyme. Une étude sur les fibres de noix de coco vertes a montré que l'explosion à la vapeur et les prétraitements à l'acide dilué peuvent améliorer l'hydrolyse enzymatique et la fermentation éthanolique, ce qui confirme que l'ouverture préalable de la matrice est souvent décisive pour la conversion de résidus fibreux ^[7].

L'accessibilité ne concerne pas uniquement les grandes biomasses destinées à l'énergie. Dans les coproduits alimentaires comme le son, l'okara, les pelures, les tourteaux ou les pulpes, la structure de paroi peut limiter l'extraction de composés d'intérêt et la fonctionnalité des fibres. Une étude sur l'okara a montré que la biotransformation associant cellulase, hémicellulase et *Yarrowia lipolytica* pouvait renforcer des propriétés nutritionnelles, ce qui illustre l'intérêt d'une déconstruction enzymatique contrôlée dans des matrices végétales riches en fibres ^[8].

L'hydrolyse peut toutefois être limitée par des phénomènes non productifs. Une partie de l'enzyme peut s'adsorber sur des zones qui ne conduisent pas efficacement à la coupure de la cellulose, notamment dans les matrices riches en lignine. La cinétique topochimique de l'hydrolyse rappelle que l'action enzymatique se déroule à la surface du solide et évolue avec la modification progressive du substrat ; le résultat dépend donc autant de la structure fibreuse que de l'enzyme elle-même ^[5].

Applications industrielles de la cellulase acide liquide

Saccharification de biomasse et bioéthanol de deuxième génération

La conversion de biomasses lignocellulosiques en sucres fermentescibles est l'une des applications les mieux établies des cellulases. Dans ce contexte, la cellulase agit après un prétraitement destiné à ouvrir la matrice et à rendre la cellulose plus accessible. Les travaux sur *Penicillium funiculosum* appliqué à l'hydrolyse de bagasse de canne à sucre pour la production d'éthanol de deuxième génération illustrent la place centrale des cellulases dans cette chaîne de valorisation [4].

La bagasse de canne, les résidus de maïs, la paille, les fibres de coco et d'autres coproduits agricoles présentent un potentiel élevé mais une résistance structurelle importante. La revue sur les composés phénoliques de la canne à sucre rappelle aussi que les différentes parties de la plante et les étapes de transformation influencent la distribution des composés d'intérêt, ce qui renforce l'importance d'une approche adaptée à la fraction utilisée [9].



Figure 3. 산성 셀룰라아제는 섬유 마감, 데님 처리, 펄프 및 제지 개질, 바이오매스 처리, 세탁 관리, 섬유질이 풍부한 사료 용도에 사용됩니다.

Dans une opération de saccharification, l'objectif n'est pas seulement de « traiter » la fibre, mais d'obtenir un profil de sucres compatible avec l'étape suivante, souvent une fermentation. Les recherches sur les prétraitements de fibres de coco vertes montrent que l'hydrolyse enzymatique et la fermentation sont liées : une hydrolyse mieux conduite augmente la disponibilité des sucres pour la conversion biologique ultérieure [7].

Valorisation des coproduits agroalimentaires riches en fibres

Les coproduits de fruits, de légumineuses, de céréales ou d'oléagineux contiennent souvent des fibres insolubles, des fibres solubles, des composés phénoliques, des protéines résiduelles et des polysaccharides fonctionnels. La revue sur les coproduits de fruits souligne leur intérêt industriel pour des applications nutritionnelles et de promotion de la santé, mais cette valeur dépend de la capacité à récupérer ou modifier les fractions utiles ^[10].

La cellulase acide liquide peut contribuer à cette valorisation lorsqu'une partie de la matière est enfermée dans des parois végétales résistantes. Elle peut aider à libérer des sucres, à modifier le rapport entre fractions solubles et insolubles, ou à améliorer l'accessibilité de composés liés à la matrice. Les travaux sur les fibres alimentaires de tourteau de noix de coco montrent que l'hydrolyse par cellulase, l'acidité, la granulométrie et le pH peuvent influencer les propriétés d'adsorption des fibres, ce qui illustre une modification fonctionnelle plutôt qu'une simple dégradation ^[11].

Les coproduits de pois constituent un autre exemple de matrice végétale à valoriser. Les revues sur le pois et ses coproduits décrivent la richesse de ces matières en protéines, amidon, fibres et composés bioactifs, ainsi que leur potentiel dans des applications alimentaires. Dans ce type de substrat, la cellulase peut être envisagée comme un outil de transformation des fractions pariétales, à distinguer des enzymes ciblant les protéines ou l'amidon ^[12].

Extraction végétale, jus et libération de composés piégés

Dans les purées de fruits, les extraits végétaux et les suspensions botaniques, les parois cellulaires peuvent retenir une partie des liquides et des composés d'intérêt. Les cellulases, souvent associées à d'autres enzymes de paroi, peuvent fragiliser cette barrière et améliorer la libération de constituants. Les revues sur les coproduits de fruits et les champignons comestibles montrent que les matrices végétales ou fongiques contiennent des composés bioactifs dont l'accessibilité dépend des opérations de transformation ^[10].

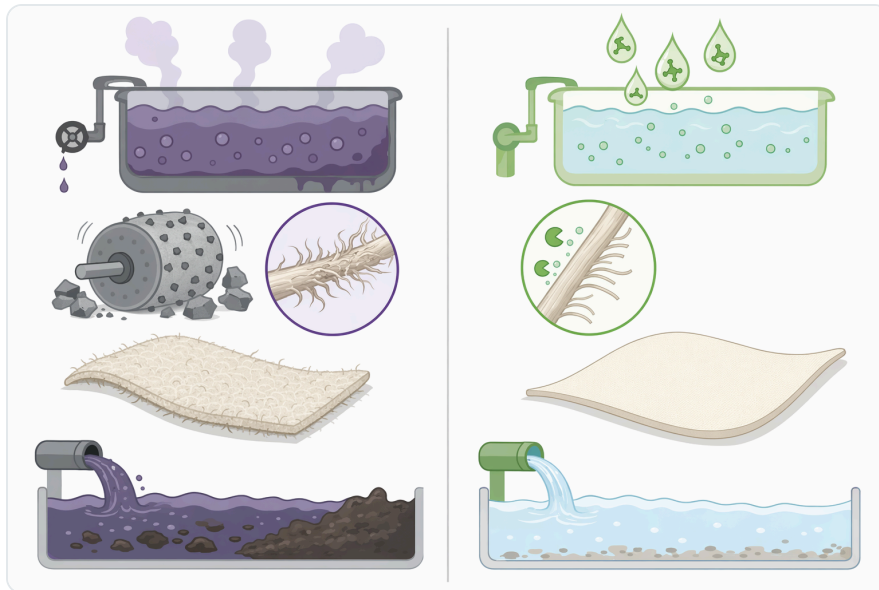


Figure 4. 강한 화학 처리나 연마 처리에 비해 산성 셀룰라아제는 더 온화하고 선택적인 셀룰로오스 섬유 가수분해를 가능하게 합니다.

Pour les fruits et coproduits de fruits, l'intérêt peut concerner les fibres, les polyphénols, les pigments, les arômes ou la réduction de contraintes de séparation liquide-solide. Les procédés enzymatiques ne remplacent pas automatiquement les étapes mécaniques, mais ils peuvent réduire la résistance de la paroi et faciliter le pressage, la macération ou la filtration. La littérature sur les sous-produits de fruits met en avant cette logique de valorisation industrielle des résidus, notamment lorsque les fractions fibreuses deviennent une ressource plutôt qu'un déchet [10].

Dans les champignons comestibles, la paroi contient aussi des polysaccharides et composés bioactifs d'intérêt. Même si la composition diffère des tissus végétaux classiques, la revue sur les champignons rappelle que les opérations de transformation influencent la disponibilité de composés bénéfiques. Cela soutient une approche prudente : l'enzyme doit être choisie selon la nature exacte de la paroi, et non par simple analogie avec une pulpe de fruit [13].

Ensilage, alimentation animale et dégradation des fibres

Dans l'ensilage, la cellulase est étudiée pour sa capacité à dégrader partiellement les fibres et à fournir des sucres plus accessibles aux bactéries lactiques. Une étude sur *Caragana korshinskii* a évalué l'effet combiné de cellulase et de bactéries lactiques sur la performance d'ensilage et la communauté bactérienne, ce qui montre l'importance de l'interaction entre enzyme, microbiote et substrat [6].

Des travaux plus récents sur l'ensilage de résidus de maïs ont examiné les effets biotechnologiques de *Lactobacillus plantarum*, de la cellulase et de la xylanase sur la qualité nutritionnelle et la structure microbienne. Cette approche reflète bien la réalité industrielle : la cellulase agit rarement seule dans un

ensilage, car les résultats dépendent de la fermentation lactique, de l'humidité, des polysaccharides disponibles et de la charge microbienne initiale [14].

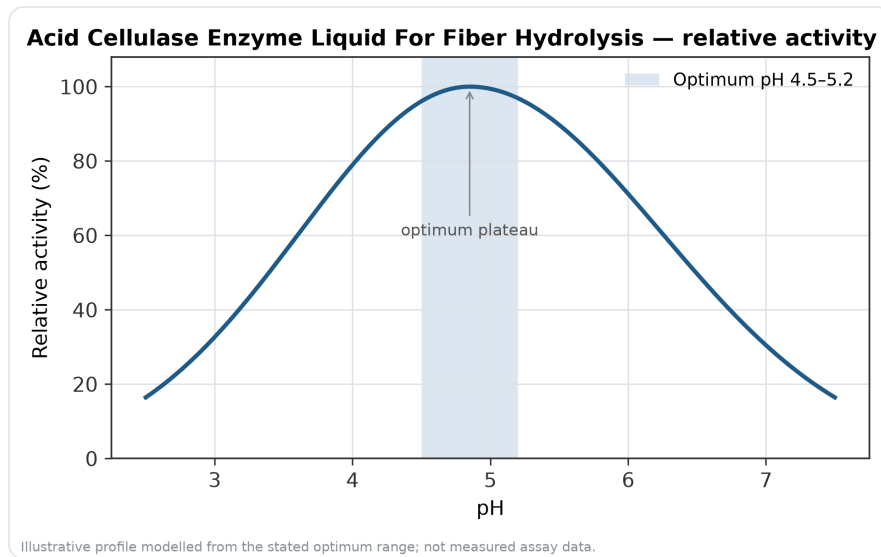


Figure 5. pH에 따른 섬유 가수분해용 산성 셀룰라아제 효소 액상의 상대 활성으로, pH 4.5~5.2에서 최적 활성 구간을 나타냅니다.

La fibre n'est pas seulement une contrainte ; elle influence aussi la nutrition animale, la digestibilité et l'écologie ruminale. Une étude sur la bagasse de canne traitée avec *Lactobacillus casei*, cellulase et mélasse a évalué l'utilisation alimentaire, l'écologie ruminale et la production laitière chez des vaches Holstein en milieu de lactation. Ce type de travail indique que la cellulase peut s'intégrer à des stratégies de valorisation des résidus fibreux, sans réduire l'effet observé à l'enzyme seule [15].

Modification de fibres cellulosiques et matériaux

La cellulase peut aussi être utilisée pour modifier la surface ou la structure de fibres cellulosiques, sans chercher une conversion complète en glucose. Dans les matériaux, la différence entre hydrolyse enzymatique et traitement acide est importante : une étude sur les nanocristaux de cellulose bactérienne obtenus par voies enzymatique et acide compare leurs propriétés et réponses biologiques, soulignant que le mode de traitement influence les caractéristiques finales du matériau [16].

Dans le textile et les fibres cellulosiques, l'objectif peut être une modification superficielle : réduction de fibrilles, ajustement du toucher, amélioration de l'aspect ou préparation d'une surface plus réactive. Les travaux sur les fibres de coton recouvertes de nanochitosane pour l'adsorption de métaux lourds ne portent pas sur une cellulase, mais ils illustrent l'importance de la chimie et de la morphologie des fibres de coton dans les performances de surface [17].

Les composites renforcés par fibres et les matériaux hybrides dépendent fortement de l'interface entre fibre et matrice. Une revue récente sur les composites polymères hybrides renforcés par fibres décrit les défis liés aux propriétés interfaciales, à la compatibilité et aux performances mécaniques. Une hydrolyse enzymatique contrôlée peut donc être envisagée comme une voie de modification douce, mais elle doit préserver l'intégrité des fibres lorsque les propriétés mécaniques sont critiques ^[18].

Tableau comparatif des principales applications

Domaine d'application	Objectif technologique	Contribution possible de la cellulase acide liquide	Points de vigilance
Biomasse lignocellulosique	Produire des sucres fermentescibles après prétraitement	Hydrolyse partielle ou avancée de la cellulose accessible ; soutien à la saccharification	La lignine, l'hémicellulose et le prétraitement contrôlent fortement l'efficacité ^[4]
Coproduits de fruits et végétaux	Valoriser les fibres, pulpes, pelures et résidus	Fragilisation des parois ; libération de fractions solubles ou composés emprisonnés	Les résultats dépendent du fruit, de la maturité, de la granulométrie et des autres enzymes présentes ^[10]
Fibres alimentaires	Modifier les propriétés fonctionnelles	Changement de structure fibreuse, accessibilité accrue, évolution possible des propriétés d'adsorption	Une hydrolyse excessive peut altérer la texture ou la fonctionnalité recherchée ^[11]
Ensilage	Améliorer la disponibilité des sucres et la fermentation	Dégradation partielle des fibres en association avec bactéries lactiques	Effet dépendant du microbiote, de l'humidité et de la matière végétale ^[6]
Matériaux cellulosiques	Modifier surface ou structure	Traitement plus ciblé que certaines hydrolyses chimiques fortes	Préserver la résistance et contrôler le niveau d'hydrolyse ^[16]

Paramètres de procédé à maîtriser sans surinterpréter l'enzyme

Le pH est un paramètre central pour une cellulase acide. Un environnement trop éloigné de la zone compatible peut ralentir l'activité ou accélérer la perte de performance. Dans les matrices végétales naturellement acides, cette compatibilité est utile parce qu'elle limite la nécessité de modifier fortement le milieu avant traitement enzymatique. Les applications en ensilage et en extraction végétale montrent que l'acidité du procédé peut faire partie du fonctionnement global plutôt qu'être un simple réglage isolé ^[6].

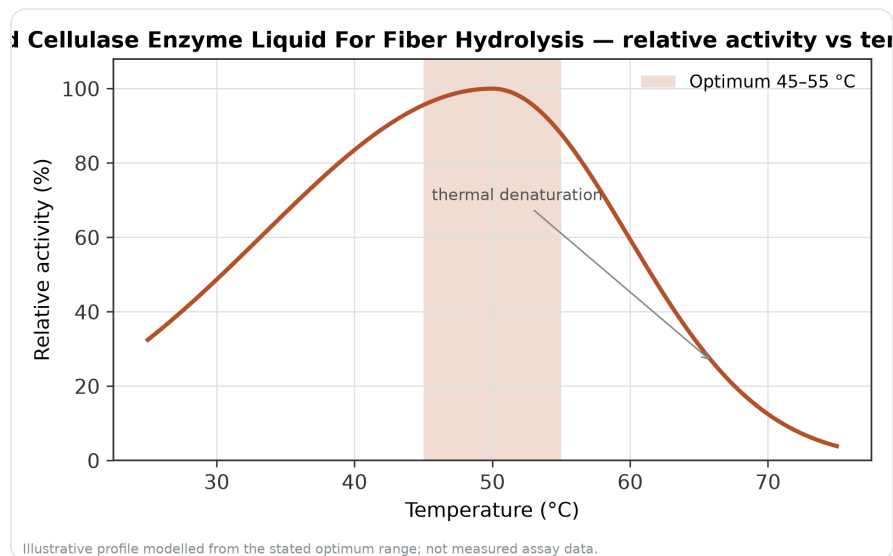


Figure 6. 온도에 따른 섬유 가수분해용 산성 셀룰라아제 효소 액상의 상대 활성으로, 45~55°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열 변성에 따른 특징적인 활성 저하가 나타납니다.

La température influence la vitesse d'hydrolyse et la stabilité de l'enzyme. Une température plus élevée peut accélérer les réactions enzymatiques jusqu'à une limite propre à la préparation et au procédé, puis devenir défavorable. Les études mécanistiques sur des cellulases thermostables montrent que la dynamique entre domaine catalytique et domaine de liaison aux glucides peut évoluer avec la température, ce qui explique pourquoi la stabilité thermique ne doit pas être supposée identique pour toutes les cellulases [19].

Le temps de contact dépend de l'objectif. Une hydrolyse pour libérer des sucres fermentescibles à partir de biomasse prétraitée nécessite généralement une conversion plus poussée qu'un traitement de surface de fibre ou qu'une macération visant à faciliter une extraction. Les mécanismes topochimiques décrits pour l'hydrolyse de tissus ligneux indiquent que la réaction évolue progressivement avec la surface disponible et les changements du solide au cours du traitement [5].

La taille des particules et l'homogénéité du mélange sont également déterminantes. Une fibre finement divisée expose davantage de surface, mais peut aussi augmenter la viscosité ou compliquer la séparation ultérieure. À l'inverse, une particule trop grosse limite le contact entre enzyme et cellulose interne. Les études sur les fibres alimentaires de tourteau de coco montrent que la granulométrie peut interagir avec l'hydrolyse enzymatique et le pH pour modifier les propriétés finales de la fibre [11].

Enfin, la présence d'autres enzymes peut être un avantage ou une source de confusion dans l'interprétation. Une performance élevée observée avec un mélange cellulase-xylanase-hémicellulase ne doit pas être attribuée à la seule cellulase. Les travaux sur la synergie cellulase-xylanase montrent

que la complémentarité est souvent recherchée précisément parce que les parois végétales sont composites [1].

Limites scientifiques et industrielles à prendre en compte

La première limite est l'inaccessibilité de la cellulose. Dans une biomasse fortement lignifiée, l'enzyme peut ne toucher qu'une fraction de la cellulose disponible. Les travaux sur la bagasse et les fibres de coco prétraitées montrent que l'étape de préparation conditionne l'efficacité de l'hydrolyse enzymatique, en particulier pour les résidus agricoles structurés [4].

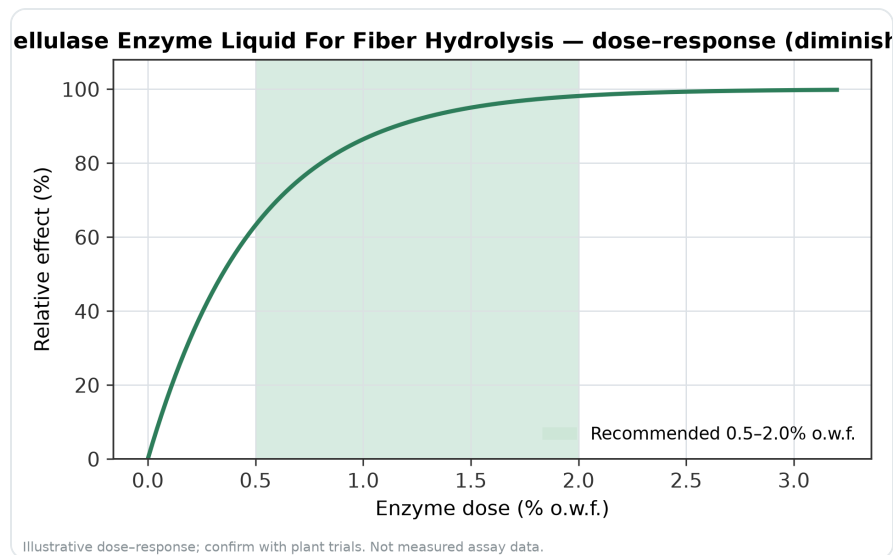


Figure 7. 권장 사용 범위(섬유 중량 대비 0.5~2.0%)에서 섬유 가수분해용 산성 셀룰라아제 효소 액상의 예시적 용량-반응 관계입니다.

La deuxième limite est la variabilité des substrats. Deux pulpes de fruits, deux lots de bagasse ou deux coproduits de légumineuses peuvent différer par leur humidité, leur teneur en lignine, leur composition en hémicelluloses, leur granulométrie et leur historique thermique. Les revues sur les coproduits de pois et de fruits soulignent justement que la composition et les possibilités d'application dépendent fortement de l'origine et du procédé de transformation [20].

La troisième limite concerne les objectifs contradictoires. Pour la production de glucose, une hydrolyse poussée peut être souhaitable. Pour une fibre alimentaire, un textile, un papier ou un matériau composite, une dégradation excessive peut diminuer la longueur de fibre, modifier une texture ou affaiblir une structure. Les comparaisons entre routes enzymatiques et acides pour la cellulose bactérienne montrent que le mode et l'intensité du traitement changent les propriétés finales [16].

La quatrième limite est la transposition des études. Une publication sur l'ensilage, l'okara, la bagasse ou la fibre de coco ne garantit pas le même résultat sur une autre matière première. Les études citées démontrent des mécanismes et des possibilités d'application, mais chaque matrice impose ses propres contraintes. C'est particulièrement vrai lorsque l'effet mesuré provient d'une association entre cellulase, microorganismes, xylanase, hémicellulase ou prétraitement chimique [14].

Positionnement produit pour les utilisateurs d'Enzymes.bio

Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysis s'adresse aux utilisateurs qui recherchent une cellulase acide liquide pour intégrer une étape d'hydrolyse ou de modification contrôlée des fibres dans un procédé aqueux. Les domaines les plus cohérents avec la littérature sont la biomasse prétraitée, les coproduits végétaux riches en fibres, certaines extractions de matrices végétales, les applications d'ensilage et les modifications de surface cellulosique lorsque l'objectif reste compatible avec une hydrolyse enzymatique [3].

Enzymes.bio fournit ce produit directement en ligne par unité de 1 kg. Le rôle d'Enzymes.bio est celui d'un fournisseur en ligne : le site ne doit pas être compris comme un fabricant d'enzyme ni comme un laboratoire réalisant des développements analytiques sur mesure. Le certificat d'analyse et la fiche de données de sécurité accompagnent la commande, afin de documenter le produit livré dans un cadre d'utilisation professionnelle.

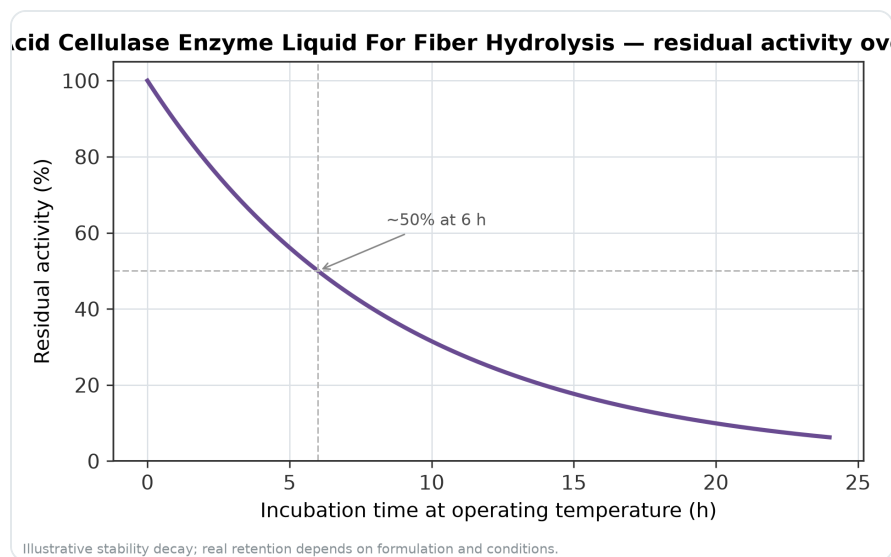


Figure 8. 섬유 가수분해용 산성 셀룰라아제 효소 액상의 예시적 열 안정성 감소를 나타낸 것으로, 작동 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소합니다.

Pour sélectionner correctement cette enzyme dans un procédé, il faut surtout raisonner en termes de substrat et de résultat recherché : saccharification, ouverture de paroi, réduction de viscosité, libération de fractions végétales, modification fonctionnelle d'une fibre ou soutien à une fermentation.

Cette logique est plus fiable qu'une comparaison abstraite entre cellulases, car les études sur les biomasses et coproduits montrent que le comportement réel dépend du couple enzyme-matière et des conditions de traitement ^[1].

Synthèse technique

La cellulase acide liquide est un outil de biotransformation des fibres végétales : elle agit sur la cellulose accessible en coupant progressivement les chaînes glucaniques, avec une efficacité accrue lorsque la paroi est ouverte et lorsque les autres composants de la matrice ne bloquent pas l'accès. La synergie avec les xylanases, hémicellulases ou microorganismes est fréquemment observée dans les applications industrielles, en particulier pour les biomasses lignocellulosiques et l'ensilage ^[1].

Les preuves les plus directes concernent la saccharification de résidus agricoles comme la bagasse de canne et les fibres de coco prétraitées, ainsi que les systèmes d'ensilage où la cellulase agit avec des bactéries lactiques ou d'autres enzymes de paroi. Les coproduits alimentaires, fibres fonctionnelles, extraits végétaux et matériaux cellulosiques représentent également des domaines pertinents, à condition de maîtriser le niveau d'hydrolyse et de ne pas extrapoler au-delà du substrat étudié ^[4].

Pour un client B2B, l'intérêt principal d'Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysis est sa capacité à introduire une étape enzymatique ciblée dans des procédés où les fibres limitent l'extraction, la conversion ou la fonctionnalité finale. Utilisée avec une compréhension claire du pH, de la température, du temps de contact, de l'accessibilité du substrat et des interactions avec d'autres enzymes, elle peut contribuer à une transformation plus contrôlée des matrices végétales riches en cellulose ^[3].

Commander Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysis en ligne

Vendu par unité de 1 kg, en stock et prêt à expédier. Commandez directement sur notre boutique — payez en ligne et nous traitons votre commande. Un certificat d'analyse et une fiche de données de sécurité sont inclus avec chaque commande.

[Acheter Acid Cellulase Enzyme Liquid For Fiber Hydrolysis →](#)

Références

Numérotées par ordre de première citation. Sources en libre accès, chacune vérifiée comme accessible au moment de la publication ; les numéros de citation dans le texte renvoient ici.

1. Bajaj, P., & Mahajan, R. (2019). Cellulase and xylanase synergism in industrial biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 8711 - 8724.
2. Roohi, Bano, K., Parveen, S., Khan, F., Zaheer, M., & Kuddus, M. (2019). Advancements in Bioprocess Technology for Cellulase Production. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*.
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. 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 .
5. Valchev, I., Yavorov, N., & Petrin, S. (2016). Topochemical kinetic mechanism of cellulase hydrolysis on fast-growing tree species. COST Action FP1105. *Holzforschung*, 70, 1147 - 1153.
6. Bai, B., Qiu, R., Wang, Z., Liu, Y., Bao, J., Sun, L., Liu, T., ... et al. (2023). Effects of Cellulase and Lactic Acid Bacteria on Ensiling Performance and Bacterial Community of *Caragana korshinskii* Silage. *Microorganisms*, 11.
7. Brito, H. G., Araújo, B. M. C., Costa, I. O., Costa, G. L. V., Oliveira, G. B., Freitas, F. B. F., Araújo Padilha, C. E., ... et al. (2024). Steam Explosion and Dilute Acid Pretreatments to Improve Enzymatic Hydrolysis and Ethanol Fermentation of Green Coconut Fibers. *Waste and Biomass Valorization*, 16, 2483 - 2495.
8. Vong, W., Lim, X. Y., & Liu, S. (2017). Biotransformation with cellulase, hemicellulase and *Yarrowia lipolytica* boosts health benefits of okara. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 101, 7129-7140.
9. Hewawansa, U. H. A. J., Houghton, M., Barber, E., Costa, R. S., Kitchen, B., & Williamson, G. (2024). Flavonoids and phenolic acids from sugarcane: Distribution in the plant, changes during processing, and potential benefits to industry and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23 2, e13307 .
10. Teshome, E., Teka, T., Nandasiri, R., Rout, J., Harouna, D. V., Astatkie, T., & Urugo, M. M. (2023). Fruit By-Products and Their Industrial Applications for Nutritional Benefits and Health Promotion: A Comprehensive Review. *Sustainability*.
11. 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.
12. Wu, D., Li, W., Wan, J., Yi-Hu, Gan, R., & Zou, L. (2023). A Comprehensive Review of Pea (*Pisum sativum* L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications. *Foods*, 12.
13. Kumar, K., Mehra, R., Guiné, R., Lima, M. J., Kumar, N., Kaushik, R., Ahmed, N., ... et al. (2021). Edible Mushrooms: A Comprehensive Review on Bioactive Compounds with Health Benefits and Processing Aspects. *Foods*, 10.
14. Liu, J., Liu, M., Sheng, P., Song, C., Ma, W., Bai, B., Zhao, J., ... et al. (2025). Biotechnological Effects of *Lactobacillus plantarum*, Cellulase, and Xylanase on Nutritional Quality and Microbial Community Structure of Corn Stover Silage. *Fermentation*.
15. So, S., Wanapat, M., & Cherdthong, A. (2021). Effect of sugarcane bagasse as industrial by-products treated *Lactobacillus casei* TH14, cellulase, and molasses on feed utilization, ruminal ecology and milk production of mid-lactating Holstein Friesian cows. *The Journal of the Science of Food and Agriculture*.
16. Claro, A. M., Dias, I. K. R., Lima Fontes, M., Colturato, V. M. M., Lima, L. R., Sávio, L. B., Berto, G. L., ... et al. (2024). Bacterial cellulose nanocrystals obtained through enzymatic and acidic routes: A comparative study of their main

properties and in vitro biological responses. *Carbohydrate Research*, 539, 109104 .

17. Rahman, M. H., Marufuzzaman, M., Rahman, M., & Mondal, M. H. (2025). Adsorption kinetics and mechanisms of nano chitosan coated cotton fiber for the removal of heavy metals from industrial effluents. *Heliyon*, 11.
18. Mohanraj, C. M., Rameshkumar, R., Mariappan, M., Mohankumar, A., Rajendran, B., Senthamaraiannan, P., Suyambulingam, I., ... et al. (2025). Recent Progress in Fiber Reinforced Polymer Hybrid Composites and Its Challenges- A Comprehensive Review. *Journal of Natural Fibers*, 22.
19. 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 .
20. Nasir, G., Zaidi, S., Tabassum, N., & Asfaq (2022). A review on nutritional composition, health benefits and potential applications of by-products from pea processing. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14, 10829 - 10842.

Contactez Enzymes.bio

Des questions sur une commande ? Notre équipe se fera un plaisir de vous aider.

E-MAIL wholesale@enzymes.bio

TÉLÉPHONE (ÉTATS-UNIS) **+1 (507) 428-6057**

[Nous contacter →](#)



400+ Clients B2B



60+ partenaires de recherche universitaires



54 servis dans le monde entier

© 2026 Enzymes.bio · Fourniture d'enzymes industrielles & de transformation alimentaire · Non destiné à la consommation humaine ni à la vente au détail.