

Protéase acide pour la dégradation des protéines des feuilles de tabac : applications en traitement enzymatique, fermentation et homogénéisation des lots

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

Réponse directe — Une protéase acide appliquée aux feuilles de tabac sert à hydrolyser une partie des protéines de la matrice foliaire en peptides et acides aminés, lorsque l'humidité, le pH acide et le temps de contact du procédé permettent l'activité enzymatique. Dans le tabac, cette approche s'inscrit dans une logique de transformation contrôlée des macromolécules végétales, complémentaire des fermentations, du vieillissement et d'autres traitements enzymatiques documentés pour le tabac ^{[1][2][3]}.

Définition technique : ce que fait une protéase acide sur une feuille de tabac

Une **protéase acide** est une enzyme qui catalyse l'hydrolyse des liaisons peptidiques des protéines dans un environnement acide ou faiblement acide. Sur une feuille de tabac, son rôle n'est pas de « dissoudre » la matière végétale, mais de transformer une fraction protéique accessible en fragments plus courts — peptides, puis éventuellement acides aminés — en fonction de la structure de la feuille, de l'humidité disponible et des conditions du procédé. Les protéases sont largement étudiées pour leur capacité à modifier des substrats protéiques dans des applications de transformation, y compris dans des contextes alimentaires et biotechnologiques où la protéolyse contrôlée est recherchée ^[4].

Le produit **Acid Protease For Breaking The Protein Down On Tobacco-Leaves** proposé par Enzymes.bio correspond à cette fonction : fournir une activité protéolytique adaptée au traitement de feuilles de tabac dans des procédés professionnels. Enzymes.bio agit ici comme fournisseur en ligne ; le produit est vendu directement par unité de 1 kg, et le certificat d'analyse ainsi que la fiche de données de sécurité sont fournis avec la commande .

Dans une matrice végétale comme le tabac, les protéines ne sont qu'une partie d'un ensemble complexe comprenant aussi des polysaccharides pariétaux, des composés azotés, des alcaloïdes, des pigments, des sucres et des précurseurs d'arômes. L'intérêt d'une protéase acide est donc ciblé : elle agit principalement sur la fraction protéique, tandis que d'autres enzymes ou microorganismes peuvent viser l'amidon, les pectines ou d'autres constituants macromoléculaires. Des travaux récents

sur la fermentation du tabac de cigare ont par exemple examiné l'effet de bactéries dégradant l'amidon sur les communautés microbiennes et les voies métaboliques, ce qui illustre la diversité des cibles enzymatiques possibles dans le tabac [4].

Pourquoi la dégradation des protéines est pertinente dans le traitement du tabac

Les feuilles de tabac évoluent fortement après récolte. Les étapes de séchage, de fermentation, de ressuyage, de vieillissement ou de conditionnement modifient progressivement la composition chimique et l'état physique de la feuille. Ces transformations ne concernent pas uniquement les sucres ou les arômes : elles touchent aussi les protéines végétales, les enzymes endogènes et les communautés microbiennes associées à la surface ou à l'environnement de la feuille. Les travaux sur le tabac montrent que la qualité et les caractéristiques de curing peuvent être influencées par des facteurs agronomiques comme la fertilisation azotée et le stress froid pendant la période de récolte, ce qui souligne le lien entre statut azoté, physiologie de la feuille et comportement au traitement [5].

Les protéines végétales sont impliquées dans la structure et le métabolisme de la feuille. Dans les plantes, les protéases participent à la remobilisation de l'azote, à la réponse aux stress, à la sénescence, à l'autophagie et à la régulation de protéines fonctionnelles. Une revue sur les protéases végétales et leurs inhibiteurs dans la réponse à la sécheresse décrit leur rôle dans l'ajustement physiologique des plantes, ce qui montre que la dégradation protéique est un mécanisme biologique central et non un phénomène marginal [6].

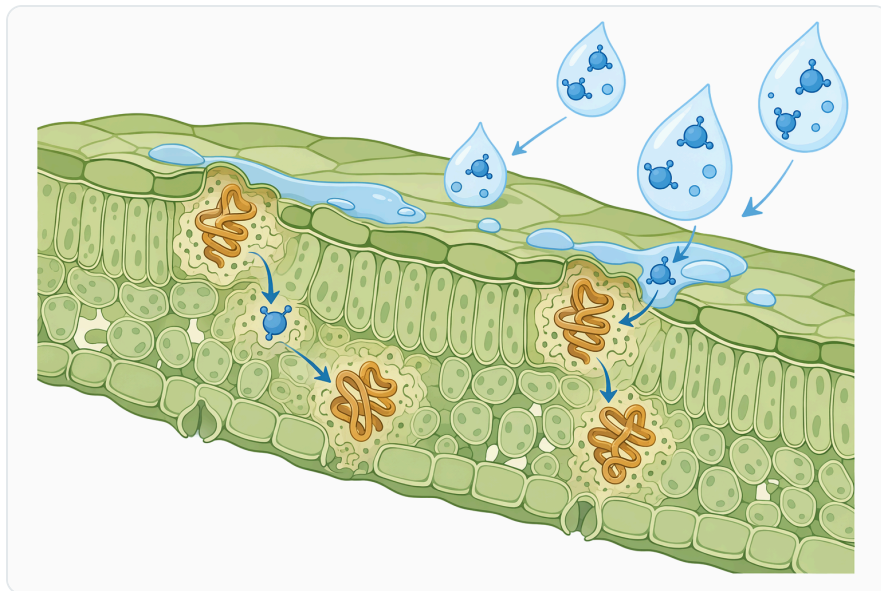


Figure 1. 산성 프로테아제는 수화된 담배 잎 단백질이 효소에 물리적으로 접근 가능한 부위에서만 작용할 수 있다.

Cette réalité biologique donne une base mécanistique à l'usage d'une protéase acide comme auxiliaire de procédé. Le traitement enzymatique ne reproduit pas toute la sénescence naturelle de la feuille ni l'ensemble des interactions microbiennes d'un vieillissement long. Il fournit plutôt une action ciblée : accélérer ou orienter l'hydrolyse d'une partie des protéines accessibles, dans une fenêtre de procédé définie. Des études récentes sur la co-fermentation microbienne-enzymatique de tabac de qualité inférieure ont utilisé des approches métagénomiques et métabolomiques pour examiner la formation de composés liés à la flaveur, ce qui confirme l'intérêt industriel de combiner biocatalyse, microbiologie et transformation du tabac [2].

Mécanisme d'action : hydrolyse des liaisons peptidiques en milieu acide

Une protéine est une chaîne d'acides aminés reliés par des liaisons peptidiques, repliée dans une conformation tridimensionnelle qui peut être plus ou moins accessible à l'enzyme. La protéase acide se fixe sur certaines régions du substrat protéique et catalyse la rupture de liaisons peptidiques par hydrolyse. Le résultat est une diminution de la taille moyenne des protéines et l'apparition de peptides plus courts, qui peuvent ensuite être transformés dans le procédé ou par la microflore présente selon les conditions appliquées. Les protéases utilisées en transformation sont précisément recherchées pour cette capacité à modifier la structure et la solubilité des protéines par coupure enzymatique [4].

Le qualificatif « acide » ne signifie pas que l'enzyme rend le tabac acide ; il indique que l'activité catalytique de l'enzyme est adaptée à des conditions de pH acide. Cette distinction est importante pour les procédés de tabac, car le comportement de la feuille dépend à la fois de son humidité, de sa température, de sa microflore, de son historique de séchage et de son environnement chimique. Dans une étape de conditionnement ou de fermentation contrôlée, une protéase acide peut donc être choisie lorsque la zone de procédé correspond mieux à une activité acide qu'à une protéase neutre ou alcaline.

La protéolyse végétale est également régulée naturellement par des mécanismes intracellulaires précis. Par exemple, la dégradation de protéines par des systèmes de protéases comme Clp participe au contrôle post-traductionnel de voies métaboliques dans les plantes, tandis que des protéases à cystéine et des processus d'autophagie interviennent dans la réponse aux signaux hormonaux et au stress [7][8]. Ces exemples ne décrivent pas directement l'application commerciale sur feuille de tabac, mais ils montrent que la dégradation sélective des protéines est un levier biologique majeur dans les tissus végétaux.

Place de la protéase acide parmi les traitements enzymatiques du tabac

Le tabac est une matrice dans laquelle plusieurs familles de macromolécules peuvent être visées par biocatalyse. Les protéines représentent une cible, mais l'amidon, les pectines et d'autres polymères végétaux peuvent aussi influencer la texture, la disponibilité des précurseurs et l'évolution pendant la fermentation. Une étude sur l'application de bactéries dégradant l'amidon dans la fermentation de feuilles de tabac de cigare a porté sur la dégradation de l'amidon, les communautés microbiennes et les voies métaboliques, ce qui montre que les approches enzymatiques du tabac ne sont pas limitées à une seule classe de substrats [1].

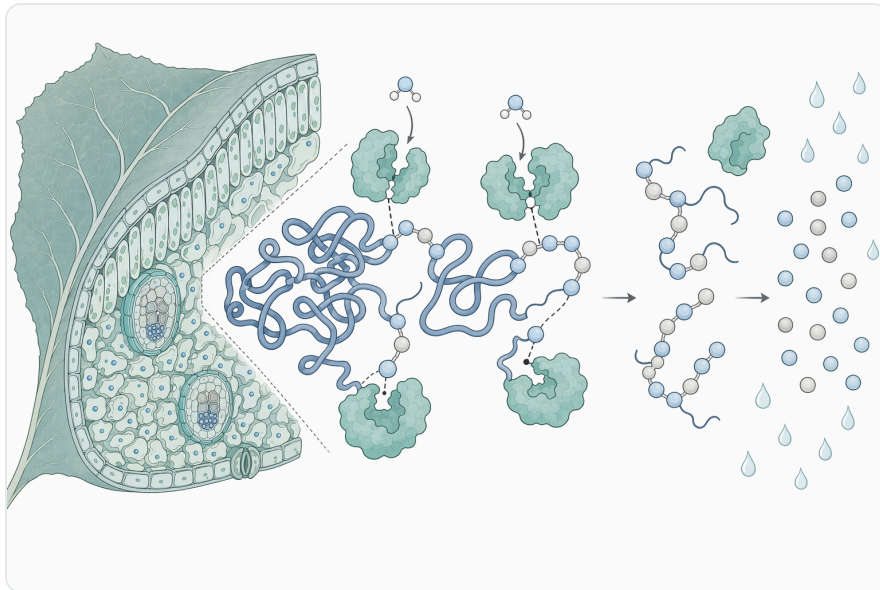


Figure 2. 산성 프로테아제는 앞 단백질의 접근 가능한 펩타이드 결합을 가수분해하여 더 짧은 펩타이드와 아미노산을 포함한 조각을 형성한다.

Les travaux sur les bactéries productrices d'enzymes isolées à la surface de feuilles de tabac « Black Tiger » séchées à l'air renforcent cette idée : la surface foliaire peut héberger des microorganismes capables de produire des enzymes exploitables dans le traitement du tabac. L'étude identifie des bactéries productrices d'enzymes sur la feuille et examine leur application au processing, ce qui soutient l'intérêt d'auxiliaires biologiques pour modifier la matrice tabac de façon contrôlée [3].

La pectinase constitue un point de comparaison utile. Des travaux récents ont porté sur l'ingénierie guidée par apprentissage profond d'une pectinase destinée à améliorer ses performances catalytiques dans le traitement du tabac, montrant que l'optimisation d'enzymes pour cette industrie est un domaine actif [9]. Une protéase acide ne remplace pas une pectinase : elle vise les protéines, tandis qu'une pectinase agit sur des composés pectiques de la paroi végétale. Les deux logiques peuvent cependant être complémentaires dans une stratégie de transformation des macromolécules.

Approche de traitement	Cible principale dans la feuille	Effet biochimique attendu	Positionnement par rapport à la protéase acide
Protéase acide	Protéines accessibles	Hydrolyse en peptides et acides aminés selon les conditions de procédé	Outil ciblé pour la fraction protéique
Bactéries ou enzymes amylolytiques	Amidon	Dégradation de l'amidon et modification des voies métaboliques associées	Complémentaire, cible glucidique différente [1]
Pectinase	Pectines et composants pariétaux associés	Modification de la structure pectique et de certaines propriétés de matrice	Complémentaire, cible la paroi plutôt que les protéines [9]
Co-fermentation microbienne-enzymatique	Plusieurs substrats selon les organismes et enzymes présents	Transformation globale de la matrice et influence sur la formation de composés de flaveur	Approche plus large, moins mono-cible [2]
Vieillessement traditionnel	Ensemble de la matrice	Évolution lente, chimique et microbienne	Non substitué par l'enzyme ; peut être accompagné par un prétraitement ciblé

Applications réalistes dans les procédés de feuilles de tabac

Traitement de feuilles avant fermentation contrôlée

Une protéase acide peut être intégrée à une étape où les feuilles sont humidifiées et maintenues dans des conditions compatibles avec l'activité enzymatique. L'objectif est de permettre à l'enzyme d'atteindre les protéines accessibles à la surface et dans les zones de la matrice où l'eau permet la diffusion. Cette étape peut être pensée comme un prétraitement biochimique, destiné à préparer une fraction azotée plus fragmentée avant une phase où la microflore ou les réactions chimiques du procédé poursuivent l'évolution de la feuille. Les études de co-fermentation microbienne-enzymatique du tabac illustrent l'intérêt de considérer ensemble enzymes, microbes et métabolites plutôt que de raisonner sur une enzyme isolée [2].

La valeur de cette approche dépend fortement du procédé complet. Une feuille trop sèche limitera l'hydrolyse, tandis qu'un excès d'humidité peut modifier défavorablement la manipulation, la stabilité microbiologique ou la texture. Le choix d'utiliser une protéase acide doit donc s'inscrire dans une logique de contrôle de l'humidité, du temps de contact et de l'environnement acide, sans supposer que l'enzyme compensera à elle seule une matière première très hétérogène ou mal préparée.



Figure 3. 산성, 중성, 알칼리성 프로테아제는 활성 부위가 가장 유용하게 유지 되는 가공 환경이 서로 다르다.

Accompagnement du vieillissement et du conditionnement

Le vieillissement du tabac implique des réactions lentes et multiples : transformations des macromolécules, évolution de la microflore, réactions d'oxydation, modifications des composés volatils et changements physiques de la feuille. Une protéase acide peut accompagner ce processus en transformant une partie de la fraction protéique en amont ou pendant une étape contrôlée, mais elle ne remplace pas le vieillissement ni la maturation globale. Les études sur les traitements microbiens et enzymatiques montrent que la formation de composés associés à la flaveur résulte d'un ensemble de voies métaboliques et non d'une seule réaction enzymatique [2].

Dans cette application, le bénéfice attendu est davantage l'orientation de la matrice qu'un résultat sensoriel garanti. La protéase agit sur une famille précise de substrats ; les effets finaux dépendent ensuite de la composition initiale de la feuille, de la disponibilité des peptides et acides aminés, de la température, de l'oxygénation, de l'humidité, de la microflore et de la durée de traitement. C'est pourquoi la protéase acide doit être décrite comme un **auxiliaire de procédé** et non comme un correcteur universel de qualité.

Homogénéisation de lots présentant des différences de maturité ou de composition

Les lots de feuilles peuvent varier selon la variété, le terroir, les conditions de culture, la fertilisation azotée, la maturité à la récolte, le mode de séchage et le stockage. Les recherches sur les effets de la fertilisation azotée et du stress froid pendant la récolte montrent que ces facteurs peuvent influencer les caractéristiques de qualité et de curing du tabac, ce qui explique pourquoi les lots ne répondent pas toujours de manière identique au traitement [5].

Dans ce contexte, une protéase acide peut contribuer à réduire une partie de la variabilité liée aux protéines accessibles, à condition que l'application soit suffisamment uniforme. L'enzyme ne rend pas deux lots chimiquement identiques, mais elle peut rendre la transformation protéique plus régulière si l'humidité, le mélange et le temps de contact sont maîtrisés. Cette fonction est particulièrement pertinente lorsque la protéolyse fait partie d'une stratégie plus large d'équilibrage de la matrice avant une étape aval.

Complément d'autres enzymes de transformation des macromolécules

Le traitement moderne du tabac peut combiner plusieurs leviers : enzymes ajoutées, microorganismes sélectionnés ou naturellement présents, ajustement de l'humidité, contrôle thermique et temps de repos. Les travaux sur les bactéries dégradant l'amidon, les bactéries productrices d'enzymes de surface foliaire et les pectinases optimisées pour le tabac montrent que différentes cibles biochimiques peuvent être mobilisées selon l'objectif du procédé [1][3][9].

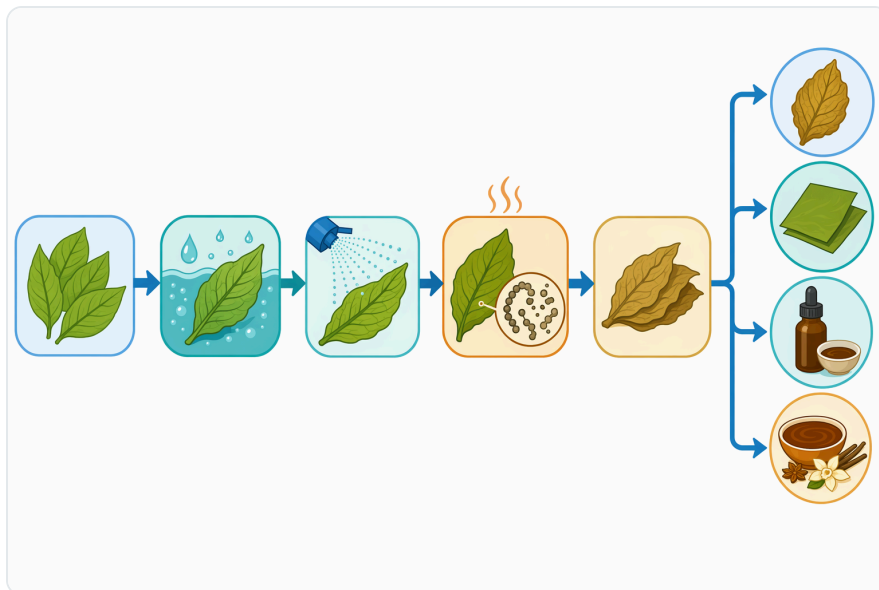


Figure 4. 프로테아제를 제어하여 사용하면 담배의 컨디셔닝, 발효, 숙성이라는 더 넓은 공정 안에서 부분적인 단백질 가수분해를 지원할 수 있다.

Une protéase acide occupe une place spécifique dans cet ensemble. Elle est pertinente lorsque l'objectif inclut la dégradation contrôlée des protéines, alors qu'une amylase ou une bactérie amylolytique s'adresse à l'amidon, et qu'une pectinase vise les composants pectiques. Une stratégie multi-enzymatique doit donc être construite autour des substrats réellement présents et accessibles dans la feuille, plutôt qu'autour d'une accumulation non sélective d'enzymes.

Facteurs de procédé qui influencent l'efficacité

Accessibilité des protéines dans la matrice foliaire

L'enzyme ne peut hydrolyser que les protéines qu'elle atteint. Dans une feuille intacte, une partie des protéines est enfermée dans des structures cellulaires ou associée à d'autres composants de la matrice. Le séchage, le broyage éventuel, l'humidité, la porosité et l'état de la surface influencent donc fortement l'accès au substrat. Les procédés de tabac qui modifient la structure de la feuille peuvent rendre certaines fractions plus disponibles, mais ils peuvent aussi limiter la diffusion si la matière devient trop compacte ou insuffisamment hydratée.

Cette notion d'accessibilité explique pourquoi l'application uniforme est un enjeu technique. Une distribution irrégulière de l'enzyme conduira à une protéolyse localisée plutôt qu'à une transformation homogène. Les études récentes sur l'industrie du tabac s'intéressent aussi à des outils numériques de reconnaissance et segmentation d'image, notamment pour caractériser et classer des matériaux de tabac ; cela reflète l'importance industrielle de l'hétérogénéité visuelle et structurelle des feuilles ^[10].

Humidité, pH et temps de contact

L'hydrolyse enzymatique nécessite de l'eau : sans humidité suffisante, la protéase ne peut pas fonctionner efficacement. Inversement, l'excès d'eau peut modifier la texture, favoriser des dérives microbiologiques ou compliquer la manipulation industrielle. Le pH doit rester compatible avec une protéase acide, et le temps de contact doit être suffisant pour permettre l'hydrolyse sans prolonger inutilement l'exposition de la feuille à des conditions qui pourraient altérer sa qualité.

Il est utile de raisonner en termes de fenêtre de procédé plutôt qu'en valeur unique. Une même dose d'enzyme peut produire des effets différents selon la maturité de la feuille, la teneur en protéines accessibles, la densité du lot, la distribution de l'humidité et la durée de repos. Les études sur les fermentations microbiennes et enzymatiques du tabac confirment que les transformations pertinentes impliquent des réseaux de voies métaboliques et de communautés, ce qui rend les résultats dépendants du contexte global ^[2].



Figure 5. 단백질 가수분해는 담배 앞의 발효와 숙성 과정에서 동시에 일어나는 여러 생화학적 변화 중 하나의 경로이다.

Température et arrêt relatif de l'activité

La température influence la vitesse de réaction enzymatique, mais aussi la stabilité de l'enzyme et l'état physique de la feuille. Une température trop basse ralentira l'hydrolyse ; une température trop élevée peut réduire l'activité enzymatique ou affecter d'autres composantes du procédé. Après la phase recherchée, l'activité de l'enzyme peut être fortement diminuée par les étapes normales de transformation, comme la réduction d'humidité, la modification de température ou la poursuite du séchage.

Il ne faut pas confondre arrêt pratique et disparition instantanée de toute activité biologique. Dans un procédé réel, l'activité résiduelle dépend de l'historique thermique, de l'humidité restante et du temps. C'est pourquoi la protéase acide doit être intégrée dans une séquence maîtrisée : application, contact, transformation, puis stabilisation de la feuille selon les objectifs du traitement.

Bénéfices attendus et limites à formuler avec précision

Le premier bénéfice attendu est la **transformation ciblée de la fraction protéique**. En hydrolysant des protéines accessibles, la protéase acide peut modifier la distribution des composés azotés sous forme de peptides et d'acides aminés. Cette action est cohérente avec le rôle général des protéases dans la modification des protéines, bien établi dans les applications de transformation ^[4].

Le deuxième bénéfice est la **compatibilité avec des procédés biologiques ou enzymatiques plus larges**. Les recherches sur la co-fermentation microbienne-enzymatique du tabac et sur les bactéries productrices d'enzymes isolées de feuilles montrent que les auxiliaires biologiques peuvent s'intégrer

dans des schémas de traitement visant la qualité et la formation de composés de flaveur ^{[2][3]}. La protéase acide peut donc servir de composant ciblé dans une approche combinée.



Figure 6. 수분 분포, 접축, 온도, 시간, 잎의 준비 상태가 산성 프로테아제가 얼마나 균일하게 작용할 수 있는지를 결정한다.

Le troisième bénéfice est l'**homogénéisation partielle** de lots variables. Lorsque les différences entre lots concernent en partie la fraction protéique accessible, une hydrolyse contrôlée peut aider à rendre cette dimension plus régulière. Toutefois, les variations liées aux sucres, aux alcaloïdes, aux pigments, à la structure pariétale ou au stockage ne seront pas corrigées par une protéase seule.

Les limites doivent être clairement établies. Une protéase acide ne garantit pas une note aromatique précise, une amélioration sensorielle universelle, ni une correction automatique d'un tabac de qualité insuffisante. Les études disponibles soutiennent l'intérêt des traitements enzymatiques et microbiens dans le tabac, mais les résultats finaux dépendent de la formulation du procédé, de la matière première et des conditions opérationnelles ^{[1][2][9]}.

Sécurité, manipulation et documents fournis

Les enzymes industrielles sont des protéines biologiquement actives. Les recommandations professionnelles sur la sécurité des enzymes indiquent qu'elles disposent d'un long historique d'utilisation, mais qu'elles doivent être manipulées de manière à limiter l'exposition aux poussières et aux aérosols, car les enzymes peuvent provoquer une sensibilisation respiratoire chez les personnes exposées ^[11]. Cette règle est particulièrement pertinente pour les préparations en poudre ou pour les opérations susceptibles de générer des particules en suspension.

La manipulation doit donc se faire dans un environnement professionnel adapté, en suivant la fiche de données de sécurité fournie avec la commande. Le certificat d'analyse et la SDS accompagnent la commande Enzymes.bio, ce qui permet l'intégration du produit dans les procédures internes de réception, stockage et utilisation documentaire .

Pour préserver la fonctionnalité de l'enzyme avant emploi, il convient d'éviter les conditions qui pourraient favoriser l'humidification accidentelle, l'exposition inutile à la chaleur ou la contamination croisée. Ces points relèvent de la bonne gestion des matières premières enzymatiques et ne modifient pas le principe central : la protéase acide est un auxiliaire de procédé destiné à agir lorsqu'elle est volontairement mise en contact avec la feuille dans des conditions compatibles avec son activité.

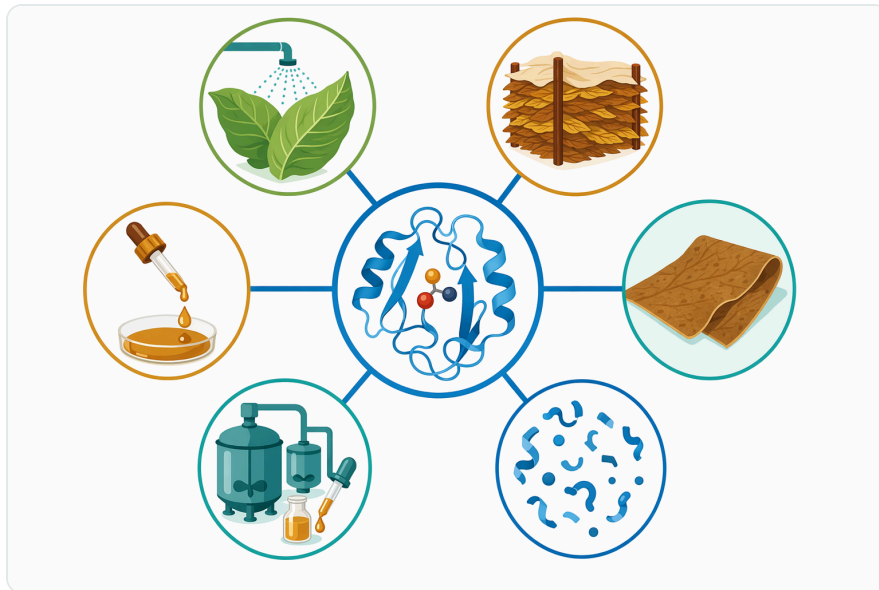


Figure 7. 논의된 주요 담배 가공 활용 분야는 컨디셔닝, 발효 지원, 그리고 제어된 숙성 또는 품질 조정 공정이다.

Positionnement B2B d'Enzymes.bio

Enzymes.bio propose cette protéase acide comme produit disponible en ligne pour les utilisateurs professionnels qui souhaitent intégrer une étape de dégradation protéique dans le traitement des feuilles de tabac. Le produit est vendu directement par unité de 1 kg, avec les documents associés à la commande, notamment le certificat d'analyse et la fiche de données de sécurité .

Ce positionnement est celui d'un fournisseur de matière enzymatique, et non d'un fabricant ou d'un laboratoire de développement de procédé. La performance réelle dépendra des paramètres appliqués par l'utilisateur dans son installation : type de feuille, humidité, distribution de l'enzyme, pH, température, durée de contact et séquence aval. L'enzyme apporte la fonction catalytique de protéolyse ; le procédé complet détermine l'effet final sur la matière.

Conclusion technique

La **protéase acide pour la dégradation des protéines des feuilles de tabac** est un outil enzymatique ciblé : elle hydrolyse les protéines accessibles de la matrice foliaire en fragments plus courts lorsque les conditions de procédé sont compatibles avec une activité protéolytique acide. Son intérêt repose sur un mécanisme enzymologique solide — la coupure des liaisons peptidiques — et sur un contexte industriel où les traitements microbiens et enzymatiques du tabac sont étudiés pour modifier les macromolécules, les voies métaboliques et les composés liés à la qualité ^{[1][2][4]}.

L'usage le plus réaliste est celui d'un auxiliaire de procédé intégré à une étape de mouillage, conditionnement, fermentation contrôlée ou préparation au vieillissement. Il peut contribuer à la transformation de la fraction protéique, à l'homogénéisation partielle de lots et à une stratégie multi-enzymatique aux côtés d'approches visant l'amidon ou les pectines. Ses effets doivent cependant être interprétés avec prudence : la protéase n'agit pas seule sur toute la qualité du tabac, et le résultat final dépend toujours de la feuille, de la microflore, du temps et des paramètres opérationnels.

Commander Acid Protease For Breaking The Protein Down On Tobacco-Leaves 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 Protease For Breaking The Protein Down On Tobacco-Leaves →](#)

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. Yin, Y., Song, X., Cui, Y., Zhang, J., Fu, K., Zhou, Q., Feng, Y., ... et al. (2025). Application of starch-degradation bacteria in cigar tobacco leaf fermentation: effects on starch degradation, microbial communities and metabolic pathways. *Frontiers in Microbiology*, 16.
2. Shu, M., Xue, H., Yang, Y., Zhang, X., Li, S., Bian, T., Yuan, K., ... et al. (2025). Microbial-enzyme co-fermentation of low-grade tobacco: Metagenomics and metabolomic insights into flavor formation. *Enzyme and Microbial Technology*, 194, 110803 .
3. Jiakun, S., Da, X., Fan, Y., Lei, G., Juanmin, L., DengYin, S., & Jibao, C. (2017). Identification of enzyme producing bacteria on "Black Tiger" air-cured tobacco leaf surface and its application in tobacco processing.

4. Narayanrao, K. A., Bayineni, V., Sahu, C., & Kadeppagari, R. (2023). Food processing applications of protease activity identified in the methotrexate degrading enzyme of *Variovorax paradoxus*. *Food and Bioproducts Processing*.
5. Ren, K., Wei, Z., Gu, K., Fu, G., Zhang, L., Zhang, H., Zhou, B., ... et al. (2025). Nitrogen fertilization rates affect quality and curing characteristics of tobacco during the harvesting period under field chilling stress. *Frontiers in Plant Science*, 16.
6. Moloji, S. J., & Ngara, R. (2023). The roles of plant proteases and protease inhibitors in drought response: a review. *Frontiers in Plant Science*, 14.
7. Apitz, J., Nishimura, K., Schmied, J., Wolf, A., Hedtke, B., Wijk, K. V., & Grimm, B. (2016). Posttranslational Control of ALA Synthesis Includes GluTR Degradation by Clp Protease and Stabilization by GluTR-Binding Protein1[OPEN]. *Plant Physiology*, 170, 2040 - 2051.
8. Laureano-Marín, A. M., Aroca, Á., Pérez-Pérez, M., Yruela, I., Jurado-Flores, A., Moreno, I., Crespo, J., ... et al. (2020). Abscisic Acid-Triggered Persulfidation of the Cys Protease ATG4 Mediates Regulation of Autophagy by Sulfide. *The Plant Cell*, 32, 3902 - 3920.
9. Zheng, X., Liu, T., Qu, X., Sun, Z., Zhao, X., Xu, Y., Wang, C., ... et al. (2026). Deep learning-guided engineering of pectinase for enhanced catalytic performance in tobacco processing. *Bioresource Technology*, 134028 .
10. Wang, J., Li, L., Shi, Y., Tan, Z., Sun, M., Chen, Y., Pan, Y., ... et al. (2025). A Review of Machine Learning-Based Image Segmentation and Recognition Techniques with Applications in the Tobacco Industry. *International Conference on Digital Signal Processing*.
11. Safety. *Amfep*.

Contacteur 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.