

Protéase acide pour fermentation efficace de l'éthanol : enzyme pour nutrition levurienne, maïs et substrats céréaliers

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

La **protéase acide** est une enzyme auxiliaire utilisée en fermentation éthanolique pour hydrolyser les protéines des matières premières en peptides et acides aminés, améliorant ainsi la disponibilité de l'azote organique pour la levure. Dans les procédés à base de maïs et d'autres céréales, la littérature rapporte que l'ajout de protéase peut augmenter les acides aminés libres, soutenir la vitesse de fermentation et réduire, selon le contexte, la dépendance à certains apports azotés externes ^{[1][2]}.

Enzymes.bio fournit cette enzyme en vente directe en ligne par unité de **1 kg**. Le certificat d'analyse et la fiche de données de sécurité sont fournis avec la commande ; Enzymes.bio agit comme fournisseur, sans se présenter comme fabricant ni laboratoire .

Rôle technique de la protéase acide en fermentation alcoolique

Une **protéase acide** catalyse l'hydrolyse des liaisons peptidiques dans les protéines lorsque le milieu de procédé est compatible avec son domaine d'activité. Dans une fermentation d'éthanol à partir de céréales, elle ne remplace pas les enzymes amylolytiques qui transforment l'amidon en sucres fermentescibles ; son rôle porte sur la fraction protéique du mash, souvent moins directement exploitable par la levure que les sucres issus de la saccharification ^{[3][2]}.

Le mécanisme recherché est simple mais industriellement important : les protéines natives du maïs, du blé, du sorgho ou d'autres substrats sont partiellement converties en peptides courts et en acides aminés. Ces composés contribuent à l'azote assimilable par les micro-organismes fermentaires, ce qui peut soutenir la croissance cellulaire, la synthèse enzymatique et la capacité de la levure à maintenir son métabolisme pendant la production d'éthanol ^{[1][2]}.

Dans les procédés industriels, l'enzyme doit donc être comprise comme un **outil de nutrition fermentaire**. Elle n'augmente pas directement la quantité de glucose produite à partir de l'amidon et ne convertit pas elle-même le sucre en éthanol ; elle améliore plutôt l'environnement biochimique dans

lequel la levure travaille, surtout lorsque l'azote disponible devient limitant ou déséquilibré [4][2].

Pourquoi l'azote protéique est un facteur critique

La fermentation alcoolique exige une source carbonée fermentescible, mais la performance réelle dépend aussi de la disponibilité en nutriments azotés. Les levures commerciales utilisées dans les procédés industriels doivent tolérer simultanément la pression osmotique, la hausse progressive de l'éthanol, les variations de température, l'acidité du milieu et les déficits nutritionnels éventuels [4].

Dans un mash céréalier, la présence de protéines totales ne signifie pas automatiquement que la levure dispose d'azote assimilable. Une partie de la matière azotée peut rester sous forme de protéines insolubles ou de structures difficiles à utiliser directement. L'action de la protéase acide est précisément de transformer une fraction de cet azote organique en formes plus petites, plus accessibles et plus utiles pendant la fermentation [3][1].



Figure 1. 산성 프로테아제는 곡물 단백질을 효모가 이용할 수 있는 질소원으로 전환하고, 전분 분해 효소는 발효 가능한 당을 생성함으로써 전분 기반 에탄올 발효를 돕습니다.

Les publications et retours techniques consacrés aux fermentations de maïs vers éthanol indiquent que l'emploi de protéases peut augmenter les niveaux d'acides aminés libres pendant la fermentation. Cette augmentation est importante car elle relie directement l'hydrolyse protéique à un paramètre opérationnel reconnu : la nutrition azotée disponible pour la levure [1][2].

Il faut toutefois éviter une interprétation trop mécanique. Une fermentation lente n'est pas toujours causée par un manque d'azote ; elle peut aussi résulter d'une saccharification insuffisante, d'une inhibition par l'éthanol, d'une souche peu robuste, d'un stress oxydatif ou d'un déséquilibre de procédé. Les travaux sur les levures industrielles soulignent que la tolérance au stress dépend de plusieurs mécanismes cellulaires, et pas d'un seul nutriment ^{[4][5]}.

Mécanisme d'action : de la protéine du mash à l'acide aminé assimilable

Hydrolyse enzymatique des protéines

La protéase acide reconnaît des substrats protéiques et coupe certaines liaisons peptidiques, générant des fragments plus courts. Cette étape réduit la complexité des protéines présentes dans le mash et peut améliorer leur solubilité ou leur accessibilité, selon la nature de la matière première et les conditions de procédé ^{[3][6]}.

Les protéases microbiennes sont largement étudiées parce qu'elles peuvent fonctionner dans des environnements industriels variés, avec des profils différents selon leur origine et leurs conditions d'activité. Les protéases acides d'origine fongique sont notamment étudiées pour des applications où l'hydrolyse protéique se déroule en milieu acide ou modérément acide, ce qui correspond à de nombreux contextes alimentaires et fermentaires ^{[3][7]}.

Libération de peptides et d'acides aminés

Après hydrolyse, les protéines ne disparaissent pas : elles sont converties en peptides et acides aminés. Ces molécules peuvent participer à la nutrition de la levure et modifier le profil azoté du milieu. Dans les fermentations céréalières, l'intérêt est de mieux mobiliser les protéines déjà présentes dans le substrat plutôt que de dépendre exclusivement d'une source d'azote ajoutée séparément ^{[1][2]}.

La littérature consacrée à l'usage de protéases en fermentation de maïs rapporte une augmentation des acides aminés libres lors de l'ajout de protéase. Cette observation appuie le mécanisme attendu : l'enzyme agit en amont de la cellule fermentaire, en rendant la matière azotée plus disponible, puis la levure peut utiliser ces composés selon ses propres besoins métaboliques ^[2].

Soutien indirect de la production d'éthanol

La protéase acide n'est pas une enzyme de production directe d'éthanol. La conversion du sucre en éthanol reste assurée par la levure ou par d'autres micro-organismes éthanologènes. L'intérêt de la protéase est indirect : améliorer la nutrition, réduire certains stress liés à un milieu carencé et soutenir une cinétique de fermentation plus régulière lorsque la nutrition azotée est un facteur limitant ^{[4][8]}.

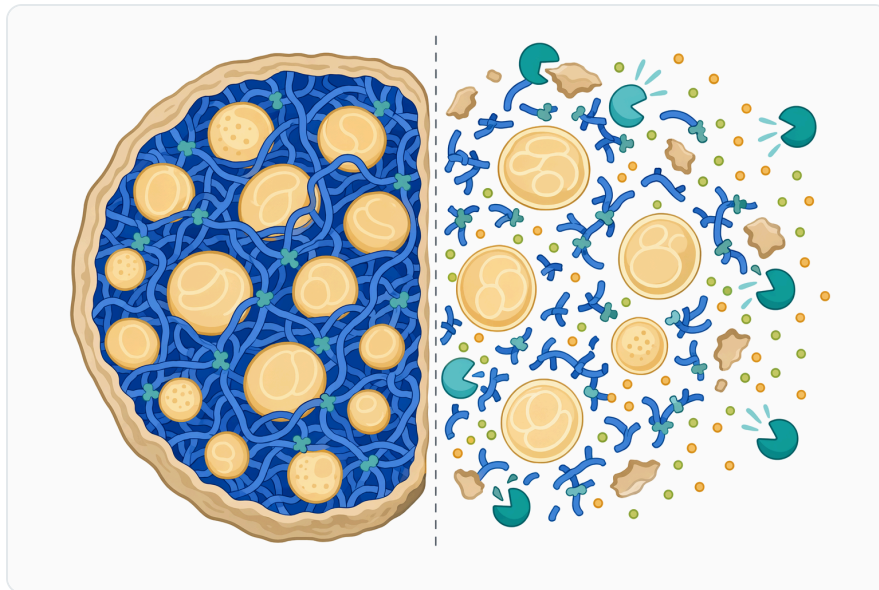


Figure 2. 프로테아제에 의한 단백질 가수분해는 곡물 매트릭스를 열어 전분과 수용성 영양소에 대한 접근성을 높일 수 있습니다.

Cette distinction est essentielle en formulation de procédé. Une amélioration de la vitesse ou du rendement ne provient pas d'une nouvelle voie de conversion du sucre, mais d'une meilleure capacité de la culture fermentaire à utiliser le substrat déjà disponible. Les études sur les mécanismes d'inhibition de la fermentation montrent d'ailleurs que des enzymes clés de la levure, comme la pyruvate décarboxylase, peuvent être affectées par des stress biochimiques indépendants de la disponibilité en sucre [5].

Comparaison avec les autres enzymes utilisées en production d'éthanol

La protéase acide s'insère dans un schéma enzymatique plus large. Les procédés d'éthanol à base d'amidon utilisent généralement des enzymes dédiées à la liquéfaction et à la saccharification, tandis que les procédés lignocellulosiques mobilisent d'autres activités pour libérer les sucres issus de la cellulose et de l'hémicellulose [9][2].

Famille enzymatique	Cible principale dans le substrat	Contribution au procédé éthanol	Ce que la protéase acide ne fait pas à leur place
Alpha-amylase	Amidon gélatinisé ou liquéfié	Réduction de la viscosité et production de dextrines	Elle ne remplace pas la liquéfaction de l'amidon
Glucoamylase	Dextrines et oligosaccharides	Libération de glucose fermentescible	Elle ne convertit pas les dextrines en glucose

Famille enzymatique	Cible principale dans le substrat	Contribution au procédé éthanol	Ce que la protéase acide ne fait pas à leur place
Cellulases / hémicellulases	Fibres lignocellulosiques	Libération de sucres à partir de biomasse fibreuse	Elle ne saccharifie pas la cellulose
Protéase acide	Protéines du mash	Libération de peptides et acides aminés utiles à la nutrition fermentaire	Elle n'est pas une enzyme de conversion des glucides
Enzymes auxiliaires selon procédé	Composants spécifiques de la matrice	Amélioration de l'accessibilité ou de la rhéologie	Leur effet dépend fortement de la matière première

Cette comparaison montre pourquoi la protéase acide est rarement pensée seule. Elle est plus pertinente comme enzyme complémentaire : les amylases assurent l'accès aux sucres, tandis que la protéase améliore l'accès à l'azote organique. Dans les matrices céréalières riches en amidon et en protéines, ces fonctions sont distinctes mais complémentaires ^{[1][2]}.

Applications dans les fermentations à base de maïs

Le maïs est l'un des contextes les plus cités pour l'usage de protéases en fermentation éthanolique. Les discussions techniques et les travaux disponibles rapportent que l'ajout de protéase dans des fermentations de maïs peut augmenter la vitesse de production d'éthanol, accroître les acides aminés libres et réduire les besoins en supplémentation azotée dans certaines conditions ^{[1][2]}.

Le mécanisme est cohérent avec la composition du substrat. Le maïs contient une fraction protéique qui peut être partiellement inaccessible à la levure sans hydrolyse préalable. Une protéase acide peut contribuer à libérer des peptides et acides aminés à partir de cette fraction, ce qui soutient l'activité fermentaire lorsque l'azote assimilable est limitant ^{[3][2]}.

Les résultats ne doivent cependant pas être extrapolés comme une garantie uniforme de rendement. L'effet dépend de la variété de maïs, de la teneur en solides, du schéma de cuisson ou de liquéfaction, de la levure, de la présence d'autres enzymes, du pH, de la température et de la stratégie globale de nutrition. Les études sur la performance des levures commerciales montrent que les réponses au stress et la capacité fermentaire varient fortement selon les souches et les environnements de procédé ^[4].

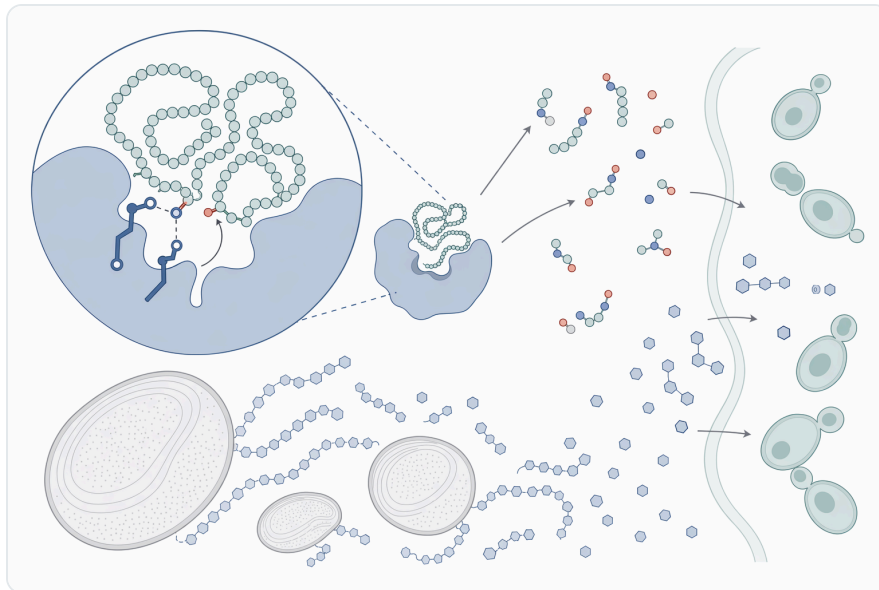


Figure 3. 산성 프로테아제는 원료 단백질의 펩타이드 결합을 절단하여 효모가 더 쉽게 이용할 수 있는 작은 펩타이드와 아미노산을 생성합니다.

Intérêt pour les céréales, les mélanges et les substrats riches en protéines

Au-delà du maïs, la logique d'emploi s'applique aux matières premières où une fraction protéique significative coexiste avec des sucres fermentescibles ou des polymères glucidiques à convertir. Le blé, le sorgho, certains mélanges céréaliers et des matrices contenant des coproduits agricoles peuvent présenter des profils azotés différents, ce qui influence la réponse à une protéase ^{[1][2]}.

Dans les substrats mixtes, la protéase peut contribuer à uniformiser la disponibilité des nutriments azotés pendant la fermentation. Cette fonction est particulièrement utile lorsque la composition du mash varie d'un lot de matière première à l'autre, car l'enzyme agit sur une classe de composés — les protéines — dont la solubilité et l'accessibilité peuvent changer selon l'origine et le traitement du substrat ^{[6][7]}.

Il reste important de distinguer la richesse protéique totale et la disponibilité réelle. Une matière première riche en protéines mais difficile à hydrolyser peut ne pas fournir rapidement assez d'azote assimilable, tandis qu'un substrat moins riche mais plus accessible peut répondre différemment. L'efficacité d'une protéase dépend donc autant de la structure de la matrice que de sa composition globale ^{[3][6]}.

Réduction possible de la dépendance aux apports azotés externes

L'une des raisons pratiques d'utiliser une protéase acide en fermentation d'éthanol est de mieux exploiter l'azote déjà présent dans la matière première. Des sources techniques sur les fermentations de maïs indiquent que l'ajout de protéase peut réduire le besoin d'ajouter certaines sources d'azote, notamment lorsque l'hydrolyse protéique augmente suffisamment les acides aminés libres disponibles [\[1\]\[2\]](#).

Cette approche n'est pas équivalente à une suppression systématique de toute nutrition complémentaire. Les besoins réels dépendent de la souche, de la charge en solides, de la durée de fermentation, des objectifs de productivité et du profil du substrat. La protéase doit donc être vue comme un levier de valorisation de l'azote organique, non comme une règle universelle de formulation [\[4\]\[2\]](#).

Le bénéfice potentiel est néanmoins clair : au lieu d'apporter uniquement une source azotée externe, le procédé peut convertir une fraction des protéines naturelles du mash en composés assimilables. Cette logique s'inscrit dans l'usage plus large des biocatalyseurs pour améliorer la transformation de biomasses industrielles sous conditions contrôlées [\[10\]\[6\]](#).

Effets attendus sur la cinétique de fermentation

Une fermentation mieux alimentée en azote assimilable peut présenter une cinétique plus régulière, surtout en phase active de croissance et de conversion des sucres. Les observations rapportées pour les fermentations de maïs avec protéase mentionnent une augmentation de la vitesse de production d'éthanol, ce qui correspond au rôle nutritionnel de l'enzyme [\[1\]\[2\]](#).

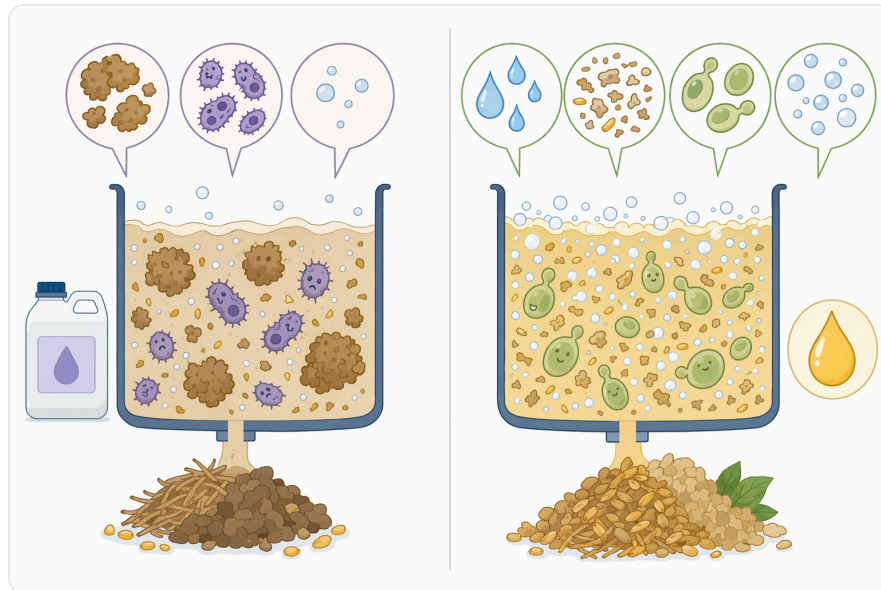


Figure 4. 산성, 중성, 알칼리성 프로테아제는 공정 적합성이 서로 다르며, 산성 프로테아제는 산성 조건의 효모 발효 환경에 가장 잘 맞습니다.

L'effet sur la cinétique peut être particulièrement visible lorsque le procédé fonctionne près d'une limite nutritionnelle. Dans ce cas, une libération supplémentaire d'acides aminés peut aider la levure à maintenir la synthèse de protéines, l'équilibre redox et la réparation cellulaire pendant la montée de l'éthanol. Les études sur la tolérance des microorganismes à l'éthanol montrent que la résistance au stress implique des réponses cellulaires complexes, incluant la protection des protéines et des membranes [4][8].

À l'inverse, si la fermentation est surtout limitée par la disponibilité en glucose, par une contamination ou par une inhibition chimique, l'effet visible de la protéase peut être faible. Une enzyme ciblant les protéines ne peut pas corriger une saccharification insuffisante ni neutraliser les mécanismes d'inhibition affectant directement les enzymes fermentaires de la levure [9][5].

Conditions de procédé : cohérence avec un environnement acide

Le qualificatif « acide » indique que l'enzyme est conçue pour agir dans un environnement compatible avec une activité protéasique en conditions acides ou modérément acides. Les protéases acides issues de microorganismes fongiques sont étudiées dans des contextes de fermentation et de transformation alimentaire où le pH du milieu est favorable à ce type d'activité [3][7].

Dans un procédé d'éthanol, l'intégration se fait généralement autour des étapes où la fraction protéique du mash est disponible à l'hydrolyse et où les conditions ne dénaturent pas rapidement l'enzyme. Les paramètres critiques sont la nature du substrat, le pH réel du milieu, la température, le temps de contact, la levure utilisée et la compatibilité avec les autres enzymes déjà présentes [3][2].

La protéase acide doit aussi être compatible avec la stratégie globale de fermentation. Les procédés à base d'amidon peuvent inclure liquéfaction, saccharification et fermentation simultanée ou séquentielle ; selon le schéma, le moment où la protéase dispose de protéines accessibles peut varier. Cette variabilité explique pourquoi les performances observées dans la littérature sont pertinentes mais doivent être interprétées en fonction du procédé réel [1][2].

Limites techniques à connaître

La première limite est liée à la cible enzymatique : une protéase agit sur les protéines, pas sur l'amidon, la cellulose ou les sucres. Elle ne compense donc pas une conversion glucidique insuffisante. Dans les procédés lignocellulosiques, par exemple, la libération des sucres dépend principalement d'autres activités enzymatiques et de la structure de la biomasse [9].

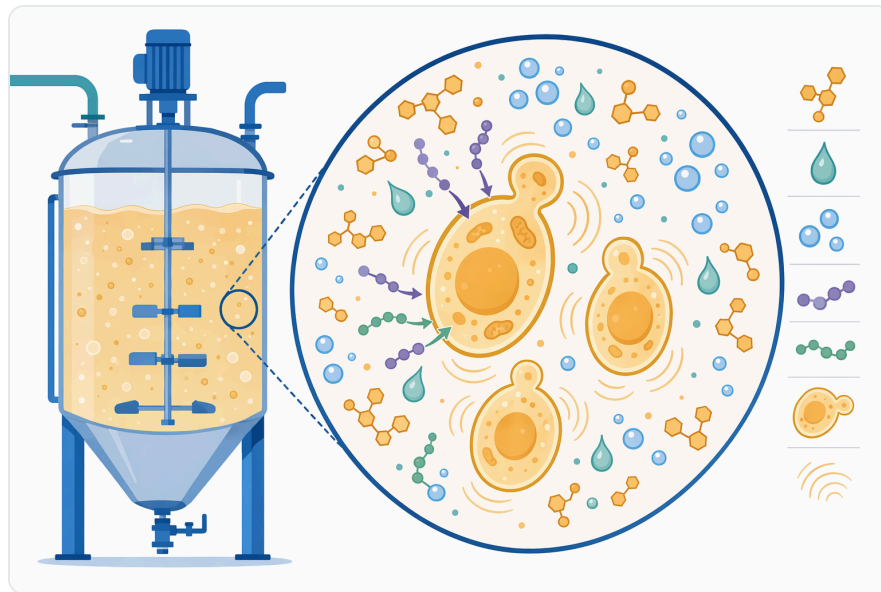


Figure 5. 산성 프로테아제가 방출한 수용성 펩타이드와 아미노산은 에탄올 발효 중 효모의 성장과 스트레스 내성을 뒷받침할 수 있습니다.

La deuxième limite concerne l'état des protéines du substrat. Certaines protéines peuvent être moins accessibles en raison de leur localisation dans la matrice, de traitements thermiques antérieurs, d'interactions avec les fibres ou d'une faible solubilité. Les études sur le traitement enzymatique de biomasses fongiques montrent que la déprotéinisation enzymatique dépend fortement de l'accessibilité de la matière et des conditions de traitement [6].

La troisième limite est microbiologique. Si la levure est fortement inhibée par l'éthanol, par des composés réactifs ou par un stress thermique, une meilleure disponibilité en acides aminés ne suffit pas toujours à restaurer la performance. Les mécanismes d'inhibition de la fermentation peuvent

toucher directement des enzymes centrales, comme la pyruvate décarboxylase, et réduire la capacité de conversion même lorsque des nutriments sont présents [5].

Données complémentaires issues d'autres industries

Les protéases sont utilisées dans de nombreux secteurs parce que l'hydrolyse contrôlée des protéines est un besoin récurrent : transformation alimentaire, valorisation de coproduits, alimentation animale, traitement de biomasse et procédés biologiques. Cette diversité d'applications ne prouve pas automatiquement une performance identique en éthanol, mais elle confirme la robustesse du principe biochimique : couper les protéines pour modifier leur disponibilité fonctionnelle [10][6].

Dans l'alimentation animale, par exemple, l'ajout de protéase à des rations contenant des coproduits de distillerie riches en protéines a été étudié pour améliorer l'utilisation de protéines végétales et de coproduits. Ce contexte est différent de la fermentation alcoolique, mais il illustre la même logique : rendre les protéines plus digestibles ou plus accessibles par hydrolyse enzymatique [11].

Dans la digestion anaérobie de déchets alimentaires et de boues, des prétraitements intégrant des protéases ont également été étudiés pour améliorer la conversion de matières organiques complexes. Là encore, l'objectif n'est pas la production d'éthanol, mais l'exemple montre que l'hydrolyse protéique peut être un levier utile dans la transformation biologique de matrices complexes [12].

Tableau d'interprétation des bénéfices et des limites

Aspect évalué	Effet attendu de la protéase acide	Interprétation technique
Disponibilité en acides aminés	Augmentation possible des acides aminés libres dans le mash	Effet cohérent avec l'hydrolyse des protéines et rapporté dans des fermentations de maïs [2]
Vitesse de fermentation	Amélioration possible lorsque l'azote assimilable est limitant	Dépend de la levure, du substrat et des autres contraintes du procédé [4][1]
Rendement en éthanol	Potentiel d'amélioration dans certains essais céréaliers	Ne remplace pas une saccharification efficace ni une levure robuste [9][2]
Apports azotés externes	Réduction possible selon le profil du mash	À interpréter comme une meilleure valorisation de l'azote organique existant [1][2]
Gestion des coproduits	Modification possible du profil protéique résiduel	L'effet dépend de la matrice et du traitement enzymatique global [6][11]

Aspect évalué	Effet attendu de la protéase acide	Interprétation technique
Risques d'attente excessive	Aucun effet direct sur amidon, cellulose ou inhibition sévère	La protéase n'est pas une solution universelle aux fermentations difficiles [5]

Ce tableau résume le point essentiel : l'enzyme est pertinente lorsque la fraction protéique du substrat représente un levier réel de nutrition fermentaire. Son intérêt diminue si le facteur limitant principal se situe ailleurs, par exemple dans la libération des sucres ou dans la tolérance intrinsèque de la souche fermentaire [4][9].



Figure 6. 산성 프로테아제는 옥수수, 쌀, 밀, 수수 및 혼합 농업 원료처럼 단백질을 함유한 전분 매시에서 가장 유용합니다.

Place dans une stratégie enzymatique d'éthanol

Dans une stratégie moderne de fermentation d'éthanol, les enzymes sont choisies pour traiter les différentes fractions de la matière première. Les enzymes amylolytiques libèrent les sucres à partir de l'amidon, les enzymes lignocellulosiques ciblent les fibres, et la protéase agit sur les protéines. Cette segmentation permet d'éviter une confusion fréquente : toutes les enzymes n'améliorent pas le même paramètre [9][2].

La protéase acide est donc particulièrement cohérente lorsque le procédé utilise des matières premières riches en protéines ou lorsque les niveaux d'azote assimilable ne suivent pas les besoins de la levure. Elle peut aussi être pertinente dans des procédés où l'on cherche à limiter les déséquilibres nutritionnels en mobilisant davantage les nutriments déjà présents dans le mash [1][2].

Cette approche rejoint l'évolution générale des procédés biologiques industriels : utiliser des biocatalyseurs ciblés pour améliorer la conversion de matrices complexes sans recourir uniquement à des ajustements chimiques. Les travaux sur la purification et l'emploi de biocatalyseurs en fermentation soulignent l'importance de choisir l'activité enzymatique en fonction de la fonction recherchée dans le procédé ^[10].

Considérations de sécurité et de documentation

Comme toute préparation enzymatique industrielle, la protéase acide doit être manipulée conformément aux informations de sécurité associées au produit. Les enzymes sont des protéines actives ; leur forme commerciale, leur présentation et les précautions d'usage doivent être considérées à partir de la fiche de données de sécurité fournie avec la commande .

Le certificat d'analyse fourni avec la commande accompagne le lot vendu par Enzymes.bio. Il sert de document produit pour l'utilisateur professionnel, tandis que la fiche de données de sécurité encadre la manipulation, le stockage et les précautions générales. Enzymes.bio fournit le produit en ligne par unité de 1 kg, sans se présenter comme fabricant ni laboratoire .

Ce que l'utilisateur industriel peut raisonnablement attendre

L'attente la plus réaliste est une amélioration de la disponibilité des nutriments azotés issus de la fraction protéique du substrat. Dans les procédés céréaliers, cette action peut soutenir la levure, augmenter les acides aminés libres et améliorer la régularité de la fermentation lorsque l'azote assimilable est un facteur limitant ^{[1][2]}.

Un second bénéfice possible est une cinétique plus favorable, avec une production d'éthanol plus rapide dans certains contextes. Les résultats rapportés pour les fermentations de maïs indiquent que la protéase peut contribuer à accélérer la fermentation, mais cette amélioration dépend de l'équilibre global du procédé et ne doit pas être isolée des autres paramètres ^{[4][2]}.

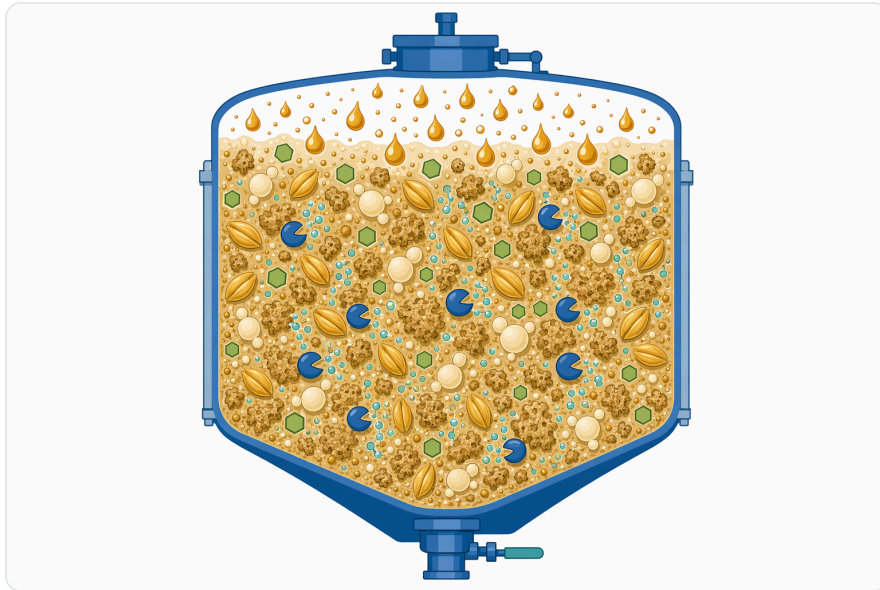


Figure 7. 고농도 전분 발효에서는 효모에 대한 영양 요구와 스트레스 부담이 커 지므로, 단백질이 존재할 경우 원료 자체 단백질의 가수분해 가치가 더욱 높아 집니다.

Un troisième intérêt est la valorisation plus complète des protéines naturelles de la matière première. Cette logique est cohérente avec d'autres usages industriels des protéases, où l'hydrolyse contrôlée améliore la disponibilité ou la transformation de matières organiques complexes ^{[6][11]}.

Conclusion technique

La **protéase acide pour fermentation efficace de l'éthanol** est une enzyme auxiliaire destinée à améliorer l'utilisation de la fraction protéique des substrats fermentés. En hydrolysant les protéines en peptides et acides aminés, elle peut augmenter l'azote organique assimilable et soutenir l'activité de la levure dans les procédés à base de maïs, de céréales ou de matrices riches en protéines ^{[3][2]}.

Les preuves disponibles soutiennent surtout son intérêt dans les fermentations céréalières où la nutrition azotée influence la vitesse et la robustesse de la fermentation. Les observations rapportées en fermentation de maïs associent l'emploi de protéase à une augmentation des acides aminés libres, à une amélioration possible de la cinétique et à une réduction potentielle de certains apports azotés externes selon les conditions ^{[1][2]}.

Son usage doit rester techniquement cadré : la protéase acide ne remplace ni les amylases, ni les enzymes lignocellulosiques, ni une levure adaptée, ni une conduite de fermentation maîtrisée. Elle est surtout efficace lorsqu'elle répond à un besoin précis : rendre les protéines du mash plus accessibles pour soutenir la nutrition fermentaire et la performance globale du procédé ^{[4][9][5]}.

Enzymes.bio propose ce produit en ligne par unité de **1 kg** ; le certificat d'analyse et la fiche de données de sécurité sont fournis avec la commande. Cette présentation correspond à un approvisionnement direct de produit enzymatique, avec un positionnement de fournisseur et non de fabricant ou de laboratoire .

Commander Acid Protease Enzyme For Effective Ethanol Fermentation 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 Enzyme For Effective Ethanol Fermentation →](#)

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. [Protease Use For Fan As Urea Substitute Poses Challenges 14321](#). *Ethanolproducer*.
2. [Pmc10537240](#). *PubMed Central*.
3. Usman, A., Mohammed, S., & Mamo, J. (2021). [Production, Optimization, and Characterization of an Acid Protease from a Filamentous Fungus by Solid-State Fermentation](#). *International Journal of Microbiology*, 2021.
4. Chen, A., Si, Q., Xu, Q., Pan, C., Qu, T., & Chen, J. (2025). [Evaluation of Stress Tolerance and Fermentation Performance in Commercial Yeast Strains for Industrial Applications](#). *Foods*, 14.
5. Eknikom, S., Nasuno, R., & Takagi, H. (2022). [Molecular mechanism of ethanol fermentation inhibition via protein tyrosine nitration of pyruvate decarboxylase by reactive nitrogen species in yeast](#). *Scientific Reports*, 12.
6. Fuentes, J., Balagurusamy, N., Vita, C. E., Hours, R., Aguilar, C. N., & Cavalitto, S. (2018). [Environmental Friendly Deproteinization and Saccharification of Industrial Fungal Biomass by Enzymatic Processing](#). *Journal of Chitin and Chitosan*.
7. Nogueira, L., Tavares, I. M. C., Santana, N. B., Ferrão, S., Teixeira, J. M., Costa, F. S., Silva, T. P., ... et al. (2021). [Thermostable trypsin-like protease by *Penicillium roqueforti* secreted in cocoa shell fermentation: Production optimization, characterization, and application in milk clotting](#). *Biotechnology and applied biochemistry*, 69, 2069 - 2080.
8. Tang, Y., Wang, Y., Yang, Q., Zhang, Y., Wu, Y., Yang, Y., Mei, M., ... et al. (2022). [Molecular mechanism of enhanced ethanol tolerance associated with hfq overexpression in *Zymomonas mobilis*](#). *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10.

9. Zheng, T., Jiang, J., & Yao, J. (2020). Surfactant-promoted hydrolysis of lignocellulose for ethanol production. *Fuel Processing Technology*, 106660.
10. Osho, M., & Kareem, S. (2021). Prospects of Biocatalyst Purification Enroute Fermentation Processes. *Fermentation*.
11. Goda, A., Ahmed, S., Nazmi, H., Baromh, M. Z., Fitzsimmons, K., Rossi, W., Davies, S., ... et al. (2020). Partial replacement of dietary soybean meal by high-protein distiller's dried grains (HPDDG) supplemented with protease enzyme for European seabass, *Dicentrarchus labrax* fingerlings. *Aquaculture Nutrition*, 26, 842-852.
12. Jiang, W., Jiang, Y., Tao, J., Luo, J., Xie, W., Zhou, X., Yang, L., ... et al. (2024). Enhancement of methane production from anaerobic co-digestion of food waste and dewatered sludge by thermal, ultrasonic and alkaline technologies integrated with protease pretreatment. *Bioresource Technology*, 411, 131357 .

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.