

# Food Grade Protease For Enzymatic Dehairing : 食品級蛋白酶用於皮革酵素去毛的機制、效益與製程定位

Enzymes.bio 研究團隊 · 紐西蘭威靈頓 · June 21, 2026

Food Grade Protease For Enzymatic Dehairing 是一類用於皮革前處理的蛋白水解酶製劑，主要目的在於鬆動毛根與表皮、毛囊周邊蛋白基質，使毛髮可在較低硫化物或較溫和條件下移除。相較傳統石灰—硫化物去毛，酵素去毛的核心價值在於降低含硫廢水與作業暴露風險，同時保留皮革纖維結構與回收毛髮的可能性；但其效果高度依賴皮種、pH、溫度、時間與酵素選擇性控制<sup>[1]</sup>。Enzymes.bio 供應此類現成酵素產品，產品以 1 kg 單位在線上銷售，CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供；Enzymes.bio 為供應商，並非製造商或實驗室。

## 酵素名稱與主要應用：蛋白酶在酵素去毛中的角色

Food Grade Protease For Enzymatic Dehairing 可理解為以蛋白酶為功能核心的皮革前處理材料；「protease」指能水解蛋白質肽鍵的酵素，而「enzymatic dehairing」則是利用酵素選擇性分解毛根與表皮間的黏著蛋白、毛囊鞘蛋白與非膠原性基質，促使毛髮從皮張上鬆脫。皮革加工中常見的去毛傳統路徑是以石灰與硫化鈉破壞毛髮與表皮結構；酵素路徑則嘗試用生物催化取代部分高污染化學作用，近年在山羊皮、牛皮與其他動物皮張研究中均有應用報告<sup>[2]</sup>。

「食品級」在此脈絡中主要表示產品定位與文件支援較接近食品鏈或較嚴謹原料管理需求，並不代表去毛工序本身屬於食品加工，也不表示產品可直接用於任何食品用途。對皮革廠而言，這類標示通常關聯到來源、處理、文件與安全資訊的可追溯性；實際使用仍應依皮革前處理目的、工廠既有流程與隨訂單提供的 CoA、SDS 進行內部管理。

## 傳統去毛的限制：為何皮革廠會評估酵素方案

傳統石灰—硫化物去毛的優點是速度快、成本結構成熟、對多種皮張具有高去毛效率；但其缺點也明確，包括廢水中硫化物、總溶解固體、鹼負荷與有機負荷增加，以及在酸化或通風不良條件下可能產生硫化氫風險。酵素去毛研究之所以持續發展，正是因為皮革業需要在去毛效率、皮面品質、職安環境與廢水處理成本之間取得更好的平衡<sup>[1]</sup>。

從環境端看，去毛段通常是製革濕加工中污染負荷較高的前處理步驟之一。若蛋白酶能減少硫化物投加、降低毛髮溶解程度，便可能讓毛髮以較完整形式回收，而不是全部進入廢水成為懸浮固體與可降解有機物；研究也指出，酵素去毛可與毛髮及脂肪回收結合，讓副產物流更接近資源化處理，而非單純污染物處理 [3]。



Figure 1. 食品級描述的是酵素製劑及其文件依據，而酵素脫毛仍屬於工業製革準備工段的應用。

從品質端看，過強的化學去毛會對粒面、表皮殘留、纖維開鬆程度與後續鞣製一致性造成影響。酵素若能在毛囊與表皮界面發揮作用，而不過度水解真皮膠原，便有機會讓皮面更潔淨、粒面損傷較低，並改善後續浸灰、脫灰、軟化或鞣製操作的均一性；但這種品質優勢並非自動發生，必須建立在合適反應窗口與停反應控制上 [4]。

## 作用機制：蛋白酶如何讓毛髮鬆脫

毛髮本體主要由角蛋白構成，角蛋白富含二硫鍵交聯，因此對一般蛋白酶並不總是容易被快速完全分解。酵素去毛的關鍵並不一定是把整根毛髮「溶掉」，而是削弱毛根、毛囊鞘、表皮基底與周邊非膠原蛋白之間的黏著結構，使毛髮能以機械作用或較低化學負荷被移除；這也是酵素去毛能與毛髮回收策略並存的原因 [2]。

蛋白酶的主要化學作用是切斷蛋白質肽鍵。當酵素擴散到毛根周圍時，會優先作用於較可及、較少高度交聯的蛋白質區域，例如毛囊周邊蛋白、表皮—真皮交界附近的黏著成分，以及部分細胞外基質蛋白。若酵素對膠原蛋白的攻擊性較低，就能在鬆動毛根的同時維持真皮纖維束完整性；若選擇性不足或反應過度，則可能造成粒面鬆弛、強度下降或表面粗糙 [5]。

部分酵素去毛研究會使用角蛋白酶或兼具角蛋白分解能力的蛋白酶。這類酵素可直接攻擊毛髮角蛋白，對頑固毛根或粗硬毛髮有幫助，但若目標是回收完整毛髮或降低廢水毛髮碎片，過強的角蛋白分解可能反而不利。Stenotrophomonas 來源粗角蛋白酶在皮革去毛的研究顯示，角蛋白水解能力可被用於去毛，但也凸顯了控制毛髮降解程度的重要性 [6]。

蛋白酶的選擇性還會受環境條件改變。不同 pH 會改變酵素活性中心、底物電荷與蛋白質構形，進而影響水解位點偏好；以 *Bacillus licheniformis* 蛋白酶水解乳清蛋白的研究為例，pH 會影響酵素對不同蛋白質區段的選擇性，這一原理也可用來理解去毛時為何同一種蛋白酶在不同浸浴條件下可能呈現不同效果 [7]。

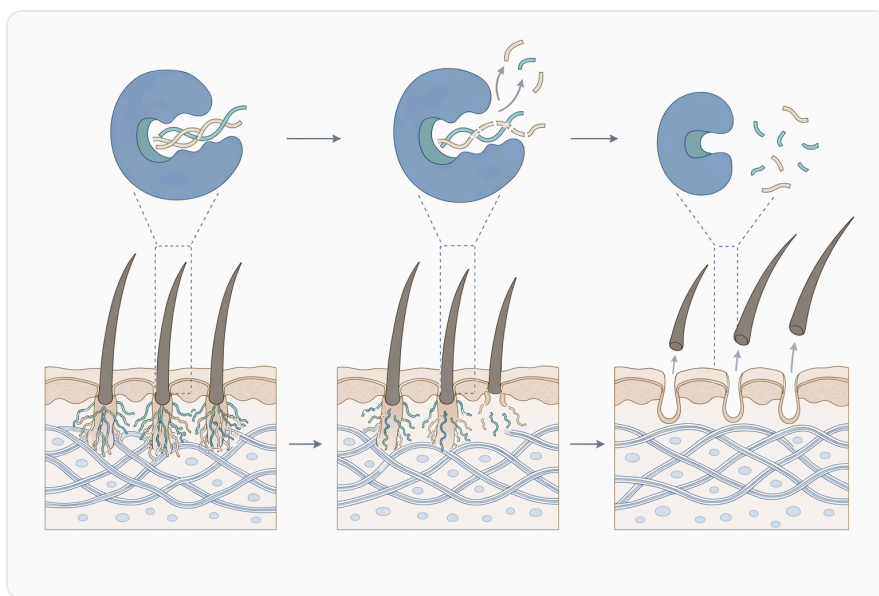


Figure 2. 酵素脫毛以固定毛髮的毛囊相關結構與非膠原蛋白結構為作用目標，同時力求保護膠原蛋白網絡。

## 常見蛋白酶類型與去毛適配性

皮革去毛文獻中常見的蛋白酶包括鹼性蛋白酶、中性蛋白酶、金屬蛋白酶、角蛋白酶，以及來自植物或微生物的複合酵素系統。*Bacillus* 屬微生物來源的鹼性蛋白酶常被討論，原因是其在偏鹼性條件下仍能作用，與傳統浸灰或低硫化物去毛環境較容易整合；金屬蛋白酶則可能藉由金屬離子依賴的催化結構，在特定 pH 與溫度下呈現良好去毛效率 [1]。

植物來源酵素或天然原料酵素系統亦被研究，例如以大豆酵素進行動物皮去毛的綜述指出，植物酵素可作為更清潔皮革加工操作的一種路徑。這類研究的價值在於提供不同來源、不同選擇性與較溫和工藝條件的可能性；但工業採用仍需考慮批次穩定性、反應速度、皮張滲透性與成本結構 [2]。

下表概述不同去毛路徑的機制與適用考量，便於理解蛋白酶方案在皮革前處理中的定位。

去毛路徑	主要作用機制	優點	主要限制	較適合的導入方式
傳統石灰—硫化物去毛	強鹼膨潤皮張，硫化物破壞毛髮角蛋白二硫鍵	去毛快、技術成熟、適用範圍廣	含硫廢水、臭味與 H <sub>2</sub> S 風險、毛髮多被溶解	既有大量生產線
蛋白酶輔助去毛	水解毛根周邊黏著蛋白與非膠原基質	可降低硫化物用量、改善工作環境、可能保留毛髮	需控制 pH、時間與酵素選擇性	低風險改良既有流程
蛋白酶主導去毛	以酵素為主要鬆毛因子，搭配低量助劑	污染負荷較低，符合清潔製程方向	對皮種與製程條件敏感，放大需驗證	環保型或差異化皮革製程
角蛋白酶去毛	直接或部分分解毛髮角蛋白	對粗硬毛髮可能有效	可能造成毛髮破碎，需避免過度水解	不以完整毛髮回收為優先時

## 製程條件：pH、溫度、時間與擴散控制

酵素去毛不是單一投料動作，而是一個由擴散、吸附、催化與機械鬆毛共同構成的濕加工步驟。蛋白酶必須先進入皮張表面與毛囊周圍，再對可及蛋白質產生足夠水解；因此皮張厚度、浸水狀態、鹽分、脂肪含量、轉鼓機械作用與浴比都會影響結果。研究中以山羊皮進行高效金屬蛋白酶去毛的案例，便強調酵素表現與製程參數密切相關，而非只由酵素本身決定 [1]。

pH 是最關鍵的控制變因之一。偏鹼性蛋白酶通常較適合與浸灰或低硫化物條件整合，中性蛋白酶則可能適用於較溫和前處理；然而，pH 也會影響皮張膨潤、膠原穩定性與其他助劑作用。若 pH 過高或反應過長，即使酵素本身對膠原選擇性較佳，也可能因皮張結構膨潤與蛋白質可及性增加而提高不必要水解風險 [7]。



**Figure 3.** 石灰 - 硫化物脫毛主要攻擊角蛋白，並可能使毛髮溶解成漿；而酵素輔助脫毛則著重於削弱毛髮的錨定環境。

溫度會同時影響酵素催化速率與穩定性。一般而言，升溫可加快蛋白質水解與擴散，但超出酵素穩定範圍後反而造成失活；對皮張而言，過高溫也可能影響膠原結構與後續加工表現。因此，實務上通常會在「足以促進去毛」與「不造成過度皮質損傷」之間尋找平衡，而不是單純追求最高反應速度 [8]。

時間與機械作用則決定水解程度。短時間酵素預處理可作為硫化物減量工具；較長時間酵素處理則可能接近主導去毛，但風險是過度水解或批次差異放大。對於厚皮、毛根深或污染狀態差異大的原皮，時間控制更需要與轉鼓運動、浸水充分性及皮張分級搭配，否則同一批處理可能出現局部去毛不足與局部過度作用並存 [9]。

## 酵素去毛與皮革品質：選擇性比強度更重要

皮革前處理的目標不是最大化蛋白質分解，而是精準移除不需要的毛髮、表皮與黏著物，同時保留真皮膠原纖維網絡。膠原是皮革強度、延展性與粒面完整性的基礎；若蛋白酶對膠原或支撐性基質水解過度，後續可能出現鬆面、空鬆、抗張強度降低或染整不均等問題。因此，去毛用蛋白酶的評估重點應放在「對毛根周邊蛋白有效、對膠原破壞低」的選擇性 [4]。

酵素選擇性並非固定屬性，而是酵素結構、底物可及性與製程條件共同形成的結果。蛋白酶在不同環境中可能因二級結構變化而調整活性與底物偏好；這解釋了為何同一種蛋白酶在不同 pH、鹽度或溫度下，可能對皮張呈現不同去毛速度與不同副作用 [8]。



**Figure 4.** 已發表的脫毛研究涵蓋山羊皮、綿羊皮與牛皮，顯示蛋白酶系統已  
在不同皮革基材上受到研究。

蛋白水解產物也會改變液相性質。蛋白質被水解後形成肽段與胺基酸，可能進入廢液並影響 COD、起泡、氣味或後續處理；有限水解有利於鬆毛，過度水解則會增加可溶性有機負荷。其他食品與副產物水解研究已顯示，蛋白酶種類與組合會顯著影響水解程度、肽段分布與功能性，這一點同樣提醒皮革製程不能只以「加入蛋白酶」概括所有效果 [10]。

## 環境效益：低硫化物、毛髮回收與廢水負荷

酵素去毛最常被引用的環境效益，是降低或部分替代硫化物。傳統硫化物法會使毛髮大量溶解，增加廢水中懸浮物、蛋白質分解物與硫化物負荷；若改以蛋白酶鬆動毛根並保留較完整毛髮，廢液中可溶性污染負荷有機會下降，毛髮也更容易以固體副產物形式分離 [3]。

山羊皮酵素去毛研究顯示，適當蛋白酶可在較環保條件下達到去毛目的，並改善毛髮與脂肪回收的可行性。這對皮革廠的意義不只是降低末端污水處理壓力，也包括減少臭味、改善車間環境、降低硫化氫形成風險，以及讓固體副產物管理更可控 [3]。

不過，環境效益不能脫離全流程評估。若酵素處理時間過長、需要額外升溫、或為了補償去毛不足而增加其他化學品，整體效益可能被稀釋；反之，若酵素能有效降低硫化物投加、減少再處理與改善後續鞣製一致性，總體效益會更明顯。因此，酵素方案較適合被視為「製程重設工具」，而不是單一添加劑替換 [9]。

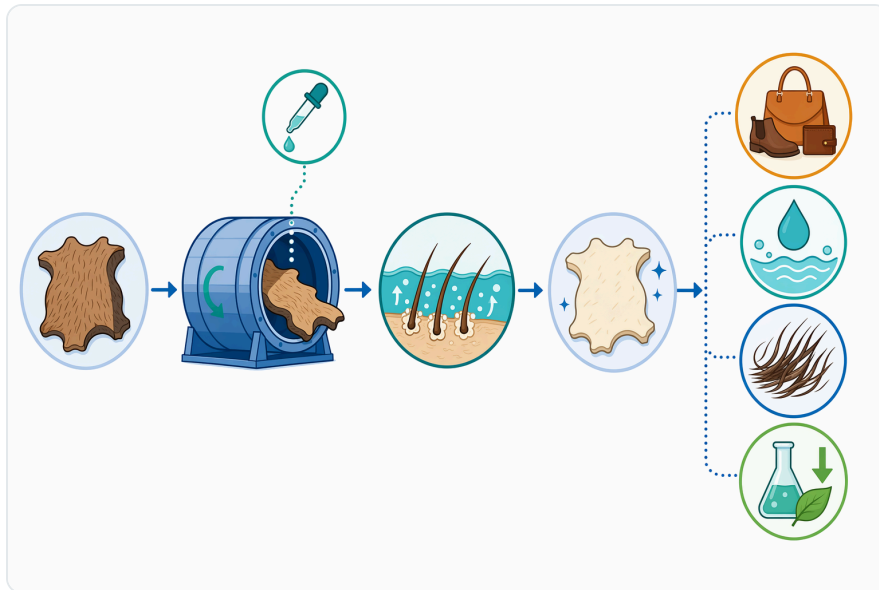


Figure 5. 在酵素脫毛過程中，可接觸的蛋白質被水解，錨定強度下降，機械作用使毛髮脫離，皮坯也變得更潔淨。

## 與後續鞣製及整飾流程的關聯

去毛段會影響後續脫灰、軟化、浸酸、鞣製與染整表現。若毛根與表皮殘留較少，後續化學品滲透可能更均勻；若皮張纖維被過度打開或粒面受損，則可能在鞣後表現為鬆面、吸收不均或物性下降。濕藍皮酵素處理研究顯示，酵素作用會影響皮革性質與後鞣流程，因此酵素在前處理中的使用需要與整條製革路徑一起考量 [4]。

對高端皮革或環保訴求產品而言，酵素去毛的吸引力在於「較溫和且較可設計」的處理邏輯。透過控制酵素作用位置與程度，製程設計者可嘗試在去毛潔淨度、粒面完整性、纖維開鬆與廢水指標間取得平衡；但若缺乏穩定的皮張分級、浸水管理與反應終點控制，酵素的選擇性優勢就可能無法完全轉化為成品品質 [2]。

## 產業應用場景：從硫化物減量到清潔製程

對既有皮革廠而言，較務實的導入方式通常是先將蛋白酶作為低硫化物或硫化物減量流程的一部分，而非立即完全取消傳統化學品。這種策略可在不大幅改動設備的情況下，逐步觀察去毛效率、毛根殘留、皮面品質與廢水變化，並降低一次性製程轉換的風險 [1]。

對以山羊皮、綿羊皮或較薄皮張為主的工廠，酵素去毛可能更容易形成穩定效果，因為酵素擴散距離較短、毛根結構較容易被處理。對厚牛皮或毛根頑固的原皮，酵素仍可作為輔助去毛或預處理工具，但通常更需要搭配浸水、機械作用與低量化學助劑來確保均一性 [9]。

對重視毛髮回收的場景，蛋白酶選擇應避免過度角蛋白分解。較理想的狀況是毛髮從毛囊界面鬆脫，而不是在浴液中被大量分解；這樣可提升固液分離效率，減少廢水中蛋白質碎片，並讓回收毛髮具備後續利用潛力 [3]。



Figure 6. 與大量使用硫化物的處理相比，酵素輔助的保毛脫毛可減少毛髮成漿，並有助於降低製革準備工段的污染。

## Enzymes.bio 供應定位與文件支援

Enzymes.bio 提供 Food Grade Protease For Enzymatic Dehairing 作為現成酵素產品，供需要進行皮革前處理、低硫化物去毛或酵素去毛評估的使用者購買。產品以 1 kg 單位在線上直接銷售；CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，以支援收貨、內部登錄、安全操作與品質追溯。

需要明確的是，Enzymes.bio 是酵素供應商，不是製造商，也不是第三方檢測實驗室。因此，本文不宣稱特定生產菌株、製造流程或實驗室驗證結果，也不提供活性單位、檢測方法或單位定義；實際產品資訊應以隨訂單文件與產品頁標示為準。

## 風險與限制：避免把酵素去毛過度簡化

酵素去毛的最大風險是「去毛不足」與「皮質過度水解」同時存在。若酵素滲透不足，毛根深處仍可能殘留；若反應條件過強，表層或薄弱部位又可能先被過度作用。這種不均一性常來自皮張厚薄差異、浸水不足、鹽分與脂肪殘留、轉鼓混合不均或反應時間過長 [2]。

另一項限制是，不同蛋白酶對底物的偏好不同，並不會因同屬 protease 就呈現相同結果。蛋白水解研究顯示，酵素種類與組合會影響水解程度、產物結構與功能性；在皮革去毛中，這可對應到毛根鬆動速度、毛髮完整度、廢液組成與皮面影響差異 [11]。

完全以酵素取代硫化物並非所有工廠、所有皮種都能立即達成。現實中更常見的是以酵素降低硫化物負荷、縮短化學作用、改善毛髮回收或降低環境壓力；若要建立完全酵素主導的流程，通常需要更完整的皮張前處理、反應控制與終點判斷 [9]。

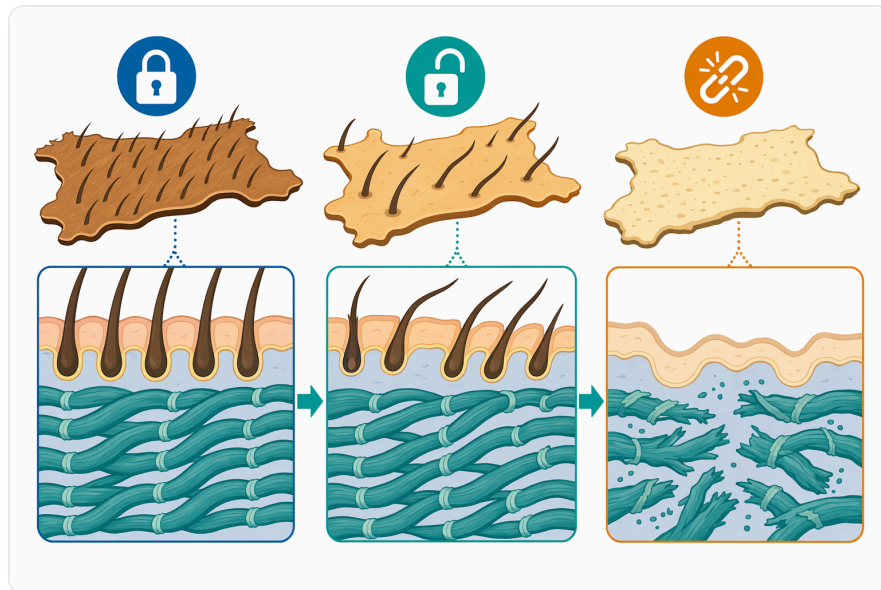


Figure 7. 技術目標是進行受控的蛋白水解，使毛髮脫離並清潔基質，同時避免膠原蛋白過度降解。

## 結論：蛋白酶是皮革清潔去毛的可行工具，但成功取決於製程控制

Food Grade Protease For Enzymatic Dehairing 的技術價值，在於用蛋白水解反應鬆動毛根與表皮黏著結構，降低對高硫化物去毛的依賴，並為毛髮回收、低污染廢水與較溫和皮面處理提供可能性。相關文獻顯示，微生物蛋白酶、金屬蛋白酶、角蛋白酶與植物來源酵素均已被探索於皮革去毛，但不同酵素的選擇性與製程窗口差異很大 [1]。

對皮革加工業者而言，酵素不是單純的化學品替代品，而是需要與浸水、pH、溫度、機械作用、皮張分級與後續鞣製流程共同設計的生物催化工具。若控制得當，蛋白酶可協助降低硫化物使用、改善作業環境、保留較完整毛髮並提升部分品質指標；若控制不當，則可能造成去毛不均或皮質損傷 [4]。

Enzymes.bio 供應的 Food Grade Protease For Enzymatic Dehairing 可作為此類工藝評估與製程改良的材料來源，並以 1 kg 單位在線上銷售；CoA 與 SDS 會隨訂單提供。本文作為技術性說明，重點在於協助理解蛋白酶去毛的機制、應用邏輯與限制，而非製造端聲明或實驗室驗證報告。

## 線上訂購 Food Grade Protease For Enzymatic Dehairing

以 1 kg 單位販售，現貨供應，可立即出貨。請直接於我們的線上商店下單並付款，我們將為您處理訂單。每筆訂單皆附分析證明書與安全資料表。

[購買 Food Grade Protease For Enzymatic Dehairing →](#)

## 參考文獻

依首次引用順序編號。所有來源皆為開放取用資料，並於發布時確認可連線；正文中的引用編號會連結至此。

1. Tian, J., Long, X., Tian, Y., & Shi, B. (2019). Eco-friendly enzymatic dehairing of goatskins utilizing a metalloprotease high-effectively expressed by Bacillus subtilis SCK6. *Journal of Cleaner Production*.
2. Rajendran, S., Afrin, Kalairaj, A., Panda, R. C., & Senthilvelan, T. (2024). A comprehensive review on enzymatic dehairing of animal skin using soybean enzymes: a novel approach for a cleaner leather processing operation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15, 9767 - 9778.
3. Nyakundi, J. O., Ombui, J., Wanyonyi, W. C., & Mulaa, F. J. (2022). Recovery of Industrially Useful Hair and Fat from Enzymatic Unhairing of Goatskins during Leather Processing. *The Journal of the American Leather Chemists Association*.
4. Biškauskaitė, R., & Valeika, V. (2023). Wet Blue Enzymatic Treatment and Its Effect on Leather Properties and Post-Tanning Processes. *Materials*, 16.
5. Hamza, T. A. (2017). Bacterial Protease Enzyme : Safe and Good Alternative for Industrial and Commercial Use.
6. Sultana, N., & Saha, P. (2018). Studies on potential application of crude keratinase enzyme from Stenotrophomonas sp. for dehairing in leather processing industry. *Journal of Environmental Biology*, 39, 324-330.
7. Butré, C., Sforza, S., Wierenga, P., & Gruppen, H. (2015). Determination of the influence of the pH of hydrolysis on enzyme selectivity of Bacillus licheniformis protease towards whey protein isolate. *International Dairy Journal*, 44, 44-53.
8. Wang, B., Zhi, W., Han, S., Zhao, H., Liu, Y., Xu, S., Zhang, Y., ... et al. (2024). Adaptability to the environment of protease by secondary structure changes and application to enzyme-selective hydrolysis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134969 .
9. Novia, D., Sandra, A., Sriagtula, R., Rambe, H., Busmantoni, B., & Putra, A. A. (2025). Eco-friendly dehairing of goat leather using indigenous rumen microorganisms: Physicochemical and sensory evaluations. *Open Veterinary Journal*, 15, 1331 - 1339.
10. Lindberg, D., Kristoffersen, K. A., Wubshet, S., Hunnes, L. M. G., Dalsnes, M., Dankel, K. R., Høst, V., ... et al. (2021). Exploring Effects of Protease Choice and Protease Combinations in Enzymatic Protein

Hydrolysis of Poultry By-Products. *Molecules*, 26.

11. Zhang, X., Ma, X., Cao, S., Xiang, F., Hu, H., Zhu, J., Agyei, D., ... et al. (2025). Effect of protease species on structure, interfacial behavior, and foaming properties of limited enzyme hydrolysis products of soybean protein isolate and mung bean protein. *Food Chemistry*, 493 Pt 3, 145926 .


## 聯絡 Enzymes.bio


對訂單有疑問嗎？我們的團隊很樂意協助。


電子郵件 [wholesale@enzymes.bio](mailto:wholesale@enzymes.bio)

電話 ( 美國 ) **+1 (507) 428-6057**

[聯絡我們 →](#)

 **400+** B2B 客戶

 **60+** 大學研究合作夥伴

 **54** 服務遍及全球

© 2026 Enzymes.bio · 工業與食品加工用酵素供應 · 非供人體食用或零售銷售。