

# 鹼性內切蛋白酶在皮革工業的應用：去毛、酵素軟化與低污染製革流程

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

鹼性內切蛋白酶 (alkaline endo-proteases) 是在鹼性製程條件下切割蛋白質內部肽鍵的酵素，主要用於皮革工業的酵素去毛、浸灰後軟化 (bating)、纖維開鬆，以及部分鞣製前後處理。相較完全依賴硫化物、強鹼或高負荷化學助劑的傳統流程，這類酵素的核心價值在於「選擇性移除非膠原蛋白」並降低廢水污染負荷，但實際效果仍取決於皮種、pH、溫度、時間、滲透性與既有製程整合方式<sup>[1]</sup>。Enzymes.bio 供應 1 kg 單位線上銷售的酵素產品；CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，本文則作為公開文獻基礎上的技術說明，而非製造商或實驗室報告。

## 什麼是皮革用鹼性內切蛋白酶？

皮革用鹼性內切蛋白酶不是單一分子，而是一類能在偏鹼環境中維持蛋白水解能力的蛋白酶。所謂「內切」是指酵素從蛋白質鏈的內部位置切斷肽鍵，而不是只從末端逐步切除胺基酸；在皮革加工中，這使其能較有效地分解毛囊周邊蛋白、表皮殘留物、基底膜成分、蛋白聚糖與部分非結構性蛋白，進而促進毛髮鬆脫與膠原纖維束開鬆<sup>[2]</sup>。

皮革的主要結構是膠原纖維網絡。製革的技術難點在於：需要移除會阻礙鞣劑、染料與加脂劑滲透的非膠原組分，卻不能過度破壞膠原主體。公開研究與製革綜述指出，酵素在皮革工業中的價值正來自這種「受控蛋白水解」：如果條件合適，可改善去毛、軟化與後續加工均勻性；若控制不當，也可能造成鬆面、強度下降或表面缺陷<sup>[1]</sup>。

## 主要應用：去毛、bating、濕藍革後處理與生物輔助鞣製

### 酵素去毛：降低硫化物依賴並改善毛髮分離

傳統去毛常結合石灰、硫化鈉或其他還原性化學品，以破壞毛髮與表皮附著結構。此流程有效，但會帶來含硫廢水、惡臭、較高 COD/BOD、污泥負荷與操作安全問題。鹼性內切蛋白酶的替代思路不是「把整根毛完全溶掉」，而是水解毛根、毛囊與表皮接合處的蛋白質膠結物，使毛髮能較完整地鬆脫並被機械移除，進而減少對高污染化學條件的依賴<sup>[3]</sup>。

以 *Bacillus* 屬來源鹼性蛋白酶進行山羊皮去毛的研究顯示，這類酵素可在鹼性環境下作用於皮張去毛流程，並被評估為較環境友善的去毛方案之一<sup>[2]</sup>。另一項針對羊皮的研究也以 *Bacillus cereus* 來源鹼性蛋白酶作為去毛劑，探討其酵素活性特徵與羊皮去毛應用，反映微生物鹼性蛋白酶在不同皮種上的應用潛力<sup>[4]</sup>。

需要注意的是，「蛋白酶去毛」與「角蛋白完全降解」不能混為一談。硬角蛋白因含有大量二硫鍵與高度交聯結構，對一般蛋白酶較不易降解；許多酵素去毛流程真正的作用位點是毛囊周圍與表皮—真皮界面的非角蛋白黏結結構。若目標是大量分解角蛋白廢棄物，通常會討論角蛋白酶 (keratinase) 或具角蛋白水解能力的特殊酵素，而這與一般皮革用鹼性內切蛋白酶的定位並不完全相同<sup>[5]</sup>。

### Bating 酵素軟化：讓纖維束更均勻開鬆

Bating 通常發生在去毛、浸灰與脫灰之後，目的是移除殘留的非膠原蛋白、表皮碎片與纖維間質，使皮革更柔軟、粒面更乾淨，並提升後續染色、復鞣與加脂的均勻性。鹼性或中性偏鹼蛋白酶可在此階段扮演「精細清理」角色，讓膠原纖維束間的黏結減弱，但不應大幅切斷膠原主鏈<sup>[6]</sup>。

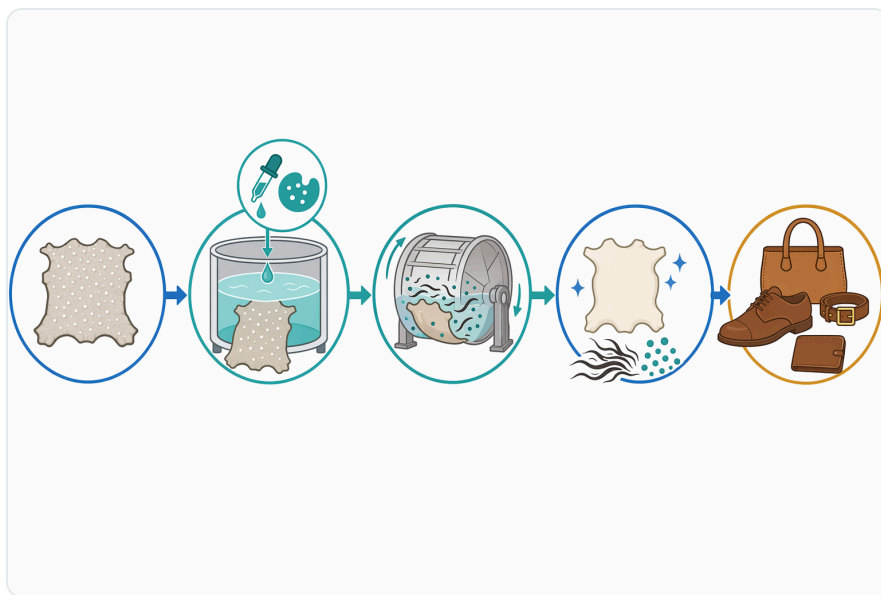


Figure 1. 鹼性內切蛋白酶主要適用於製革的準備工段與濕加工步驟，應用範圍從浸水、軟化到部分藍濕皮處理或廢棄物處理作業。

一項將木瓜蛋白酶與界面活性劑用於 bating 的研究指出，酵素與助劑組合會影響成革物理性質，顯示 bating 不是單純「加酵素」即可，而是與潤濕、滲透、纖維開鬆和蛋白移除程度密切相關<sup>[6]</sup>。這對鹼性內切蛋白酶同樣重要：過少處理可能軟化不足，過度處理則可能造成粒面鬆弛、抗張強度下降或成品批次差異。

## 濕藍革與後鞣處理：改善後續加工反應性

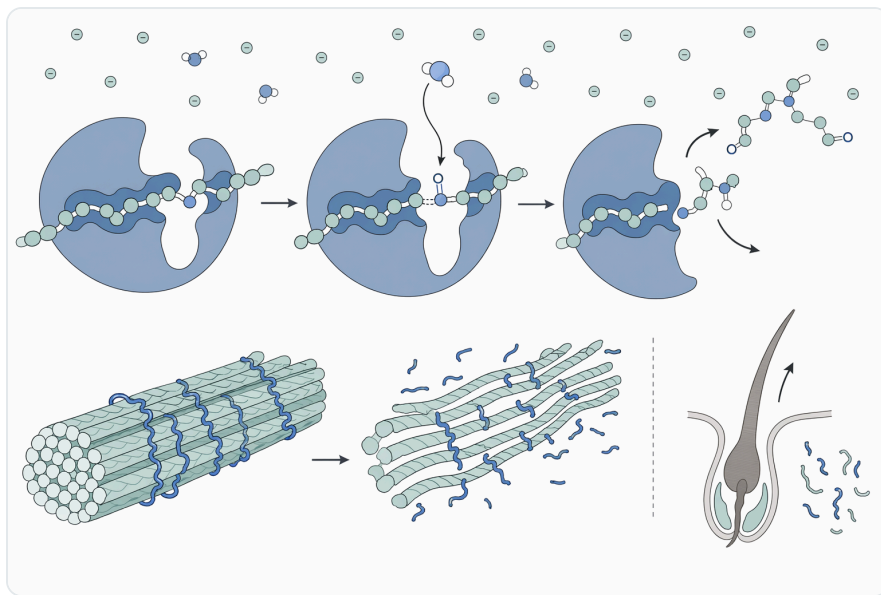
除了傳統前處理，近年也有研究探討濕藍革 (wet blue) 酵素處理對皮革性質與後鞣流程的影響。濕藍革已經過鉻鞣，膠原結構被交聯穩定化；此時酵素更難深入作用，但若條件恰當，仍可能改變纖維表面與殘留蛋白狀態，影響復鞣、染色與加脂的吸收表現<sup>[7]</sup>。

這類後段應用的技術邏輯與去毛不同：去毛重視毛髮鬆脫與表皮分離，濕藍革處理則更重視微觀纖維表面調節與後續化學品利用效率。由於濕藍革已經含有鞣製結構，酵素選擇與處理強度必須更保守，避免造成不必要的表面損傷或區域性軟弱<sup>[7]</sup>。

## 酵素輔助植物鞣與高吸收鞣製

鹼性內切蛋白酶也被研究用於鞣製前的纖維開鬆與非膠原蛋白移除，以提升植物鞣劑或鉻鞣劑的滲透與吸收。植物鞣涉及單寧與膠原之間的氫鍵、疏水作用及其他非共價相互作用；若纖維束過於緊密，鞣劑進入速度與分布均勻性會受到限制<sup>[8]</sup>。

在環保植物鞣研究中，酵素被用來改善鞣製效率並降低污染負荷。相關文獻指出，酵素輔助處理可促進植物鞣劑與膠原纖維的結合，並被視為較清潔製革策略的一部分<sup>[9]</sup>。另有研究探討高吸收植物鞣與酵素使用，顯示生物催化前處理可改變鞣製動力學與鞣劑利用率<sup>[10]</sup>。



**Figure 2.** 內切蛋白酶會切割可接近的非膠原蛋白內部肽鍵，將大型基質物質轉化為較小片段，使其能從皮革結構中移出。

鉻鞣方面，也有研究將酵素納入高吸收鉻鞣流程，討論酵素在提高鉻耗盡率與降低鉻排放中的角色<sup>[11]</sup>。這並不代表酵素能單獨解決所有鉻污染問題，而是說明在「低污染製革」設計中，酵素可作為降低化學負荷與改善滲透反應的一個工具。

# 作用機制：為什麼蛋白酶能讓皮革變柔軟、易去毛？

---

## 1. 切斷毛囊與表皮黏結蛋白

在原皮中，毛髮不是單純插在孔洞裡，而是由毛囊、表皮結構、基底膜與周邊蛋白質共同固定。鹼性內切蛋白酶可水解這些蛋白質黏結成分，使毛根固定力下降；在機械轉鼓、沖洗或刮毛作用下，毛髮更容易被帶離皮面<sup>[2]</sup>。

這種機制也解釋了為什麼適當的酵素去毛有機會保留較完整毛髮，而不是把毛髮大量化學溶解在浴液中。完整毛髮分離可降低廢液中可溶性蛋白與硫化負荷，並可能提升毛髮副產物回收的可行性；針對羊皮去毛的研究亦探討了羊毛水解物與脂肪等副產物回收，反映生物法去毛與資源化處理之間的關聯<sup>[12]</sup>。

## 2. 去除蛋白聚糖與纖維間質，促進開鬆

膠原纖維束之間存在蛋白聚糖與其他非膠原間質，這些成分像「填充與黏結材料」，會影響纖維束滑移、吸水、藥劑滲透與成品手感。受控蛋白水解能降低纖維間黏著，讓纖維網絡更容易打開，進而改善柔軟度、飽滿感與後續加工均勻性<sup>[13]</sup>。

在 *bating* 階段，這種纖維開鬆尤其關鍵。若只追求快速分解，可能會讓粒面層被過度削弱；若處理不足，皮革可能仍顯得板硬、染色不均或加脂不透。因此，鹼性內切蛋白酶的價值不是「越強越好」，而是能在製程窗口內提供可控的非膠原蛋白移除<sup>[6]</sup>。

## 3. 滲透與電荷交互作用決定效果深度

酵素是具有尺寸與表面電荷的蛋白質分子，並非小分子化學品。它要發揮作用，必須先進入皮張表面、毛囊周圍或纖維間空隙；其滲透行為會受到 pH、離子強度、膠原帶電狀態、酵素本身電荷，以及皮張前處理狀態影響<sup>[13]</sup>。

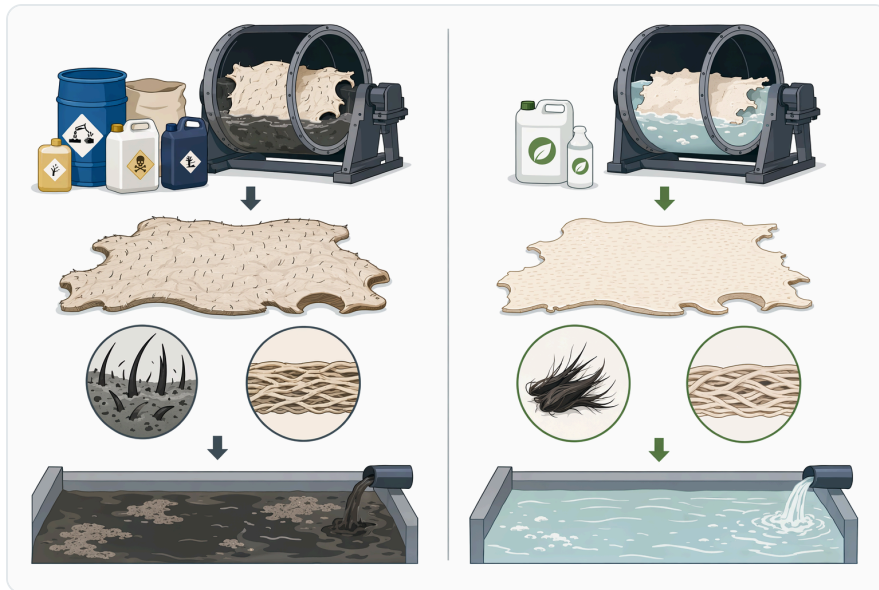


Figure 3. 酸性、中性與鹼性蛋白酶的差異在於其偏好的 pH 環境，以及其與皮革濕加工條件的自然契合程度。

研究指出，膠原與酵素之間的靜電作用會影響蛋白酶在裸皮中的滲透與分布。當吸附太強時，酵素可能停留在表面造成表層過度作用；當吸附太弱或纖維結構過緊時，又可能滲透不足，導致內外處理不均<sup>[13]</sup>。這也是為什麼同一種酵素在牛皮、羊皮、山羊皮或不同厚度皮張上，可能出現不同表現。

## 與傳統化學流程的比較

面向	傳統硫化 / 強鹼去毛與常規 bating	鹼性內切蛋白酶輔助流程
主要作用	以強化學條件破壞毛髮、表皮與部分蛋白結構	選擇性水解毛囊周邊與非膠原蛋白
污染負荷	可能產生含硫、高 COD/BOD、惡臭與污泥問題	有機會降低硫化物與部分化學品用量 <sup>[3]</sup>
對毛髮狀態	常造成毛髮大量分解於浴液	可能促進較完整毛髮分離，利於固液分離 <sup>[12]</sup>
對膠原風險	化學過度作用可能造成粒面或纖維損傷	酵素過量或時間過長也可能造成強度下降
製程控制重點	化學濃度、時間、溫度、轉鼓條件	pH、溫度、滲透、作用時間、皮種差異 <sup>[13]</sup>
後續加工影響	需處理殘硫、鹼度與中和負荷	可能改善鞣劑、染料、加脂劑滲透均勻性 <sup>[10]</sup>

這個比較不表示酵素一定能完全取代所有化學品。較務實的導入方式通常是「替代一部分高污染功能」或「降低化學品強度，同時維持去毛與軟化效果」。早期零排放與生物催化製革研究即強調，製革污染削減往往來自多步驟整合，而不是單一材料的孤立替換<sup>[14]</sup>。

## 在不同製革段落中的功能定位

---

### 浸水與預處理後

浸水會恢復皮張含水狀態、移除鹽分與可溶性污物，並讓後續藥劑更容易進入。若鹼性內切蛋白酶用於去毛前或去毛初期，其作用需要配合皮張膨潤、毛囊可及性與浴液均勻性；在此階段，過度表面吸附或局部高濃度都可能造成處理不均<sup>[1]</sup>。

### 去毛與浸灰階段

在去毛流程中，鹼性蛋白酶常被視為降低硫化物用量的生物輔助工具。Bacillus 來源鹼性蛋白酶在山羊皮與羊皮去毛研究中均有應用案例，顯示其可針對毛根附著結構產生作用；但不同皮種的毛囊深度、脂肪含量與粒面緊密度會改變實際效果<sup>[2]</sup>。

### 脫灰後 bating

脫灰後的裸皮 pH 逐步下降，纖維膨潤狀態也與浸灰階段不同。bating 的主要目標不是去除毛髮，而是改善柔軟度、粒面潔淨與纖維分散。酵素在此階段需更注重均勻性與溫和性，避免表層過度水解造成鬆面或粒面缺陷<sup>[6]</sup>。

### 鞣製前後

酵素輔助植物鞣或高吸收鞣製的概念，是透過調整膠原纖維可及性與非膠原蛋白含量，讓鞣劑更有效進入並固定。植物鞣研究指出，酵素可在環保鞣製中扮演促進滲透與降低污染負荷的角色；鉻鞣研究則討論酵素對提高吸收與降低排放的可能貢獻<sup>[9]</sup>。

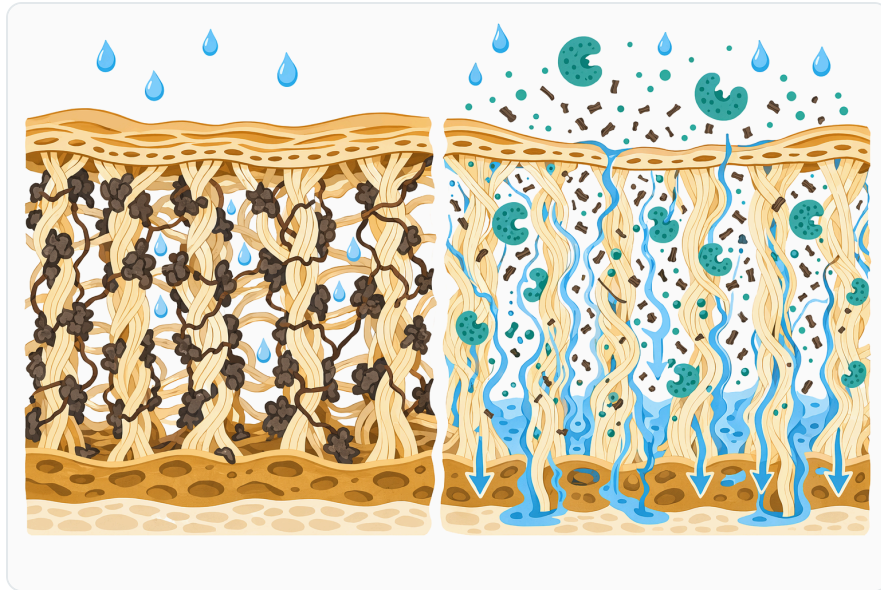


Figure 4. 在浸水過程中，蛋白酶水解有助於去除會阻礙吸水與均勻復水的可溶性及弱結合蛋白。

## 成品質量可能受到哪些影響？

適當的鹼性內切蛋白酶處理可改善柔軟度、延展性與染色均勻性，原因在於纖維束間的蛋白質間質被部分移除，膠原纖維能更自由滑移。bating 相關研究顯示，酵素處理條件會反映在皮革物理性質上，因此此類產品的應用效果應以最終皮革手感、粒面狀態與機械表現綜合判斷<sup>[6]</sup>。

另一方面，蛋白酶最大的品質風險就是過度水解。若作用太深或太久，酵素可能不只移除非膠原蛋白，也開始削弱支撐皮革強度的膠原區域，導致抗張、撕裂或粒面緊實度下降。這種風險在薄皮、鬆面原皮、已受損原料或轉鼓分布不均時更需要注意<sup>[1]</sup>。

濕藍革酵素處理也可能影響後鞣加工表現。研究顯示，濕藍革經酵素處理後，其皮革性質與後鞣過程可能出現變化；這代表酵素不只作用於「前段去毛」，也可能成為後段調整手感與吸收性的工具，但條件需要更精細<sup>[7]</sup>。

## 環境與製程效益：重點在降低負荷，而不是誇大「零污染」

皮革工業的污染來源包括鹽分、硫化物、石灰、蛋白質、脂肪、染料、鉻或植物鞣殘液等。鹼性內切蛋白酶能貢獻的部分，主要是減少高污染去毛化學品、降低蛋白質大量溶解造成的廢水負荷，並改善鞣劑或後處理助劑的利用效率<sup>[14]</sup>。

在植物鞣方面，酵素輔助流程被用於清潔鞣製研究，目的包括提升植物單寧吸收、縮短或改善鞣製過程，以及降低未固定鞣劑進入廢液的比例<sup>[10]</sup>。這對使用金合歡、荊樹、含羞草等植物單寧系統的製革廠特別有意義，因為植物鞣劑本身來源多樣，其分子大小、酚羥基分布與膠原親和力會影響滲透與固

定<sup>[15]</sup>。

然而，酵素不是廢水處理的替代品，也不能消除所有污染。它更適合被視為「源頭減量」工具：在皮張處理早期降低污染生成，在鞣製與後整理階段提升材料利用率，再與現有廢水處理、固液分離與化學管理共同形成較清潔的製革系統<sup>[9]</sup>。

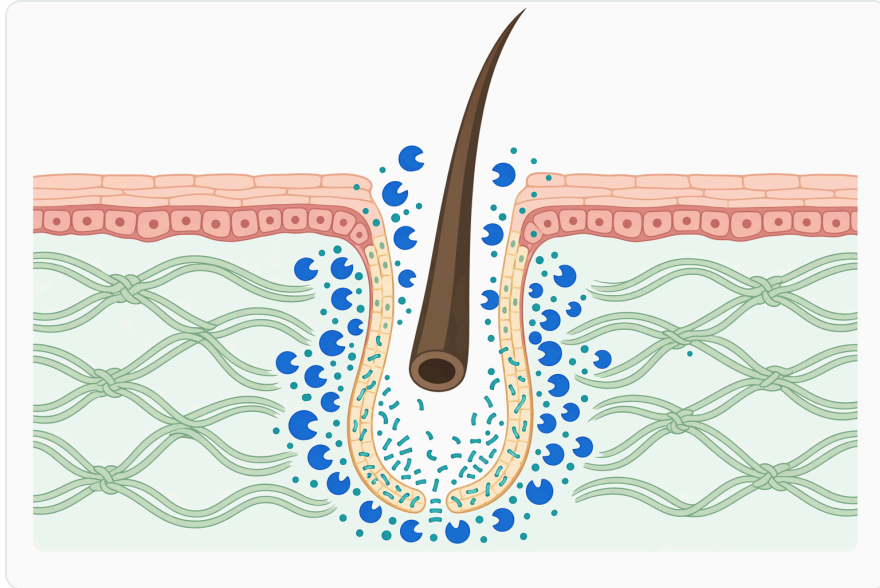


Figure 5. 酵素脫毛可透過削弱毛囊與表皮的錨定蛋白來使毛髮脫離，而非溶解整根毛幹。

## 常見應用情境與製程整合方式

### 牛皮、羊皮與山羊皮去毛

牛皮厚、纖維束粗，酵素滲透深度與均勻性是關鍵；羊皮與山羊皮較薄，但毛囊密度、脂肪與粒面敏感度可能增加過度作用風險。公開研究中，山羊皮與羊皮皆有鹼性蛋白酶去毛案例，支持其跨皮種應用可能性，但不同原皮不宜直接套用同一處理強度<sup>[2]</sup>。

### 柔軟革與服裝革

服裝革、手套革與部分軟面革更重視柔軟度、垂墜性與粒面細緻度。bating 階段使用蛋白酶可幫助纖維束分散，使手感更柔順；但這類產品通常也最怕粒面鬆弛，因此酵素作用需要偏向均勻、溫和與可控<sup>[6]</sup>。

## 植物鞣革與低鉻 / 高吸收鉻鞣

對植物鞣或高吸收鞣製而言，酵素的價值在於改善鞣劑進入膠原網絡的路徑。研究指出，酵素輔助植物鞣可影響鞣製動力學與最終膠原穩定化，而高吸收鉻鞣研究也將酵素納入降低鞣劑排放的策略之一 [16]。

## 使用上的技術邊界

鹼性內切蛋白酶的名稱暗示其適合偏鹼條件，但不同來源與配方的適用窗口不完全相同。皮革製程中的 pH、鹽分、殘留石灰、表面活性劑、脂肪、溫度與轉鼓機械作用都可能改變酵素的實際表現；因此同一產品在不同廠線上可能呈現不同去毛速度或軟化程度 [13]。

另一個邊界是選擇性。理想狀況下，酵素主要移除非膠原蛋白與毛氈黏結物；但蛋白酶本質上仍會水解可及的蛋白質。如果膠原因前處理受損、膨潤過度或長時間暴露而變得更可及，過度水解的風險就會上升 [1]。



Figure 6. 富含蛋白質的殘留物，如毛髮、羊毛、肉屑、邊角料與污泥組分，可被水解成較小且富含肽的材料，以便更容易處理或進一步加工。

最後，酵素對皮革品質的貢獻通常不是單一指標能完整描述。柔軟度提升若伴隨強度下降，未必是成功；去毛快速若造成粒面損傷，也不一定具有商業價值。較合理的評估方式，是把去毛完整性、粒面狀態、纖維開鬆、鞣劑吸收、染色均勻性、廢水負荷與最終成品等級放在同一製程邏輯中觀察 [7]。

## Enzymes.bio 供應形式與文件

Enzymes.bio 作為酵素供應商，提供 1 kg 單位的線上購買形式，適合需要將酵素導入既有皮革製程評估或生產使用的客戶。Enzymes.bio 不是製造商，也不是實驗室；因此本文聚焦於公開研究所支持的應用機理、產業用途與製程風險，而不宣稱特定製造來源或自行實驗結果。

每筆訂單會隨附 CoA 與 SDS，以支援客戶內部的品質、倉儲、安全與合規管理。由於皮革加工高度依賴原皮狀態與現場條件，公開文獻可提供方向，但最終仍需由使用端依自身製程判斷適用性與品質結果<sup>[1]</sup>。

## 結論：適合用於低污染製革的受控蛋白水解工具

鹼性內切蛋白酶在皮革工業中的核心價值，是以生物催化方式選擇性水解毛囊黏結物與非膠原蛋白，協助去毛、bating 軟化、纖維開鬆與鞣製前後的滲透改善。研究顯示，*Bacillus* 等微生物來源鹼性蛋白酶已在山羊皮、羊皮去毛及相關製革流程中被評估，並與降低硫化物依賴、改善廢水負荷與提升加工均勻性等目標相連<sup>[2]</sup>。

但酵素不是無條件替代所有化學步驟的萬能材料。它的成功取決於作用位置是否正確、滲透是否均勻、處理是否受控，以及是否能在不損傷膠原主體的前提下達成毛髮鬆脫與纖維開鬆。對追求較清潔製革、低污染去毛、穩定 bating 與更高材料利用率的製革流程而言，鹼性內切蛋白酶是一項具備文獻基礎且值得納入製程設計的工具<sup>[14]</sup>。

### 線上訂購 Alkaline Endo-Proteases For Leather Industry

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 Alkaline Endo-Proteases For Leather Industry →](#)

## 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. Kopytina, I., Andreyeva, O., Mokrousova, O., & Okhmat, O. (2022). ENZYMES AND APPROACHES TO THEIR APPLICATION IN THE LEATHER PRODUCTION. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*.
2. Briki, S., Hamdi, O., & Landoulsi, A. (2016). Enzymatic dehairing of goat skins using alkaline protease from *Bacillus* sp. SB12. *Protein Expression and Purification*, 121, 9-16 .

3. Arunachalam, B., Dhathathreyan, A., & Palanisamy, T. (2025). Protease encapsulated liposomes for twin benefits: a green approach to unhairing and soft leather production. *Journal of liposome research*, 35, 370 - 381.
4. Fitriyanto, N., Musthofiyah, M., Muhlisin, M., Pertiwiningrum, A., Kurniawati, N., Prasetyo, R. A., Azkarahman, A. R., ... et al. (2021). Enzymatic activity of alkaline protease from Bacillus cereus TD5B and its application as sheep skin dehairing agent. *Leather and Footwear Journal*.
5. Esmail, S. S., Hassan, A. A., Easa, S., & Ismail, A. (2024). Production and partial purification of an innovative heat resistant  $\alpha$ -keratinase with some remarkable medical and industrial applications. *Egyptian Pharmaceutical Journal*.
6. Abidin, M. Z., Yuliatmo, R., & Griyanitasari, G. (2022). Evaluation of Physical Properties of Leather on the Bating Process by Combination of Papain Enzyme with Surfactant. *Leather and Footwear Journal*.
7. Biškauskaitė, R., & Valeika, V. (2023). Wet Blue Enzymatic Treatment and Its Effect on Leather Properties and Post-Tanning Processes. *Materials*, 16.
8. al., A. E. (2025). A brief overview of the chemistry of leather tanning and current trends: applications of tanned leathers. *Journal of Basics and Applied Sciences Research*.
9. Kanth, S., Venba, R., Madhan, B., Chandrababu, N. K., & Sadulla, S. (2009). Cleaner tanning practices for tannery pollution abatement: Role of enzymes in eco-friendly vegetable tanning. *Journal of Cleaner Production*, 17, 507-515.
10. Kanth, S., Kannan, P., Usharani, N., Jayakumar, G., Yasothai, A., & Chandrasekaran, B. (2009). STUDIES ON THE USE OF ENZYMES IN TANNING PROCESS: PART I. HIGH EXHAUST VEGETABLE TANNING.
11. Venba, R., Kanth, S., & Babu, N. (2008). Novel approach towards high exhaust chromium tanning.Part1: role of enzymes in the tanning process. *Journal of The American Leather Chemists Association*, 103, 401-411.
12. Chebon, S., Wanyonyi, W. C., Onyari, J., Maru, S. M., & Mulaa, F. (2023). Enzymatic dehairing of sheep skin: Recovery and characterization of commercially important wool hydrolysate and fats. *European journal of sustainable development research*.
13. Zhu, Y., Song, J., Zhang, X., Gao, M., Peng, B., & Zhang, C. (2023). Effect of Electrostatic Interaction between Collagen and Enzymes on Permeation of Protease into the Pelt during Leather Bating Process. *The Journal of the American Leather Chemists Association*.
14. Thanikaivelan, P., Rao, J., Nair, B., & Ramasami, T. (2002). Zero discharge tanning: a shift from chemical to biocatalytic leather processing. *Environmental Science and Technology*, 36 19, 4187-94 .
15. Hoque, M. B., Ayman, U., Sheikh, M. S., Hannan, M. A., Haque, P., Baria, B., Rahman, M. M., ... et al. (2025). An in-depth review on tannin sources, extraction methods, and industrial applications. *Discover Food*, 5.
16. Jayakumar, G., Deepa, S., Chandrasekaran, B., Kanth, S., Kannan, P., & Usharani, N. (2010). Studies on the use on enzymes in tanning process: Part II. Kinetics of vegetable tanning process. *Journal of The American Leather Chemists Association*, 105, 16-24.


## 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。