

Wool Protease 羊毛蛋白酶：羊毛後整理用防氈縮與防起球酵素

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

Wool Protease 是用於羊毛與羊毛混紡後整理的蛋白酶類產品，主要透過受控水解羊毛表層角蛋白鱗片，降低纖維間定向摩擦，進而改善防氈縮、抗起球、手感與部分染整表現。相較傳統氯化 / 樹脂防縮路線，酵素整理的核心價值在於以較溫和、較低環境負擔的方式改質纖維表面，但製程必須避免蛋白酶過度滲入纖維內部造成強度損失。Enzymes.bio 供應的 Wool Protease 為線上銷售之 1 kg 包裝工業酵素產品；Enzymes.bio 是供應商，並非製造商或實驗室，CoA 與 SDS 會隨訂單提供。

酵素名稱與主要應用

酵素名稱：Wool Protease — Anti-Felting & Anti-Pilling Enzyme For Wool Finishing

主要應用：羊毛布料、羊毛針織品、羊毛混紡品與成衣後整理中的防氈縮、抗起球、生物拋光、表面改質與手感改善。蛋白酶在紡織加工中的用途屬於工業酵素應用的一環；微生物蛋白酶因能在水相、相對溫和條件下水解蛋白質底物，已被廣泛討論於清潔、皮革、食品與紡織相關領域^[1]。

在羊毛整理中，Wool Protease 的功能不是「溶解羊毛」，而是以可控方式作用於纖維最外層的角蛋白結構。羊毛表面由重疊鱗片組成，鱗片邊緣會在洗滌、滾動與機械摩擦下造成纖維單向移動與纏結，最後形成氈縮；蛋白酶整理的目的，就是降低這些鱗片造成的定向摩擦效應，讓羊毛在洗後尺寸穩定性與表面外觀上更可控^[2]。

為什麼羊毛需要防氈縮與抗起球整理

羊毛的高保暖性、回彈性與吸濕性來自其角蛋白纖維結構，但同一結構也帶來加工挑戰。洗滌或穿著時，羊毛纖維的表面鱗片會彼此勾掛；在水分、溫度、鹼性或機械作用存在時，纖維逐步向同一方向移動並糾纏，導致布面收縮、變厚、變硬，這就是氈縮現象。起球則通常與纖維端外露、表面毛羽、摩擦與纖維強度共同相關；若表層毛羽被磨耗卻不易脫落，就會形成可見毛球^[2]。

傳統防縮工藝常以氧化或氯化方式削弱羊毛表面鱗片，再配合聚合物樹脂覆膜，以減少纖維間摩擦。這類方法在工業上成熟，但也可能帶來含鹵副產物、廢水處理壓力、手感變化與染色外觀差異。近年許多研究因此轉向酵素、表面活性劑、等離子體、液氨、聚合物固定化或生物高分子接枝等路線，希

望在降低環境負擔的同時維持羊毛品質^[3]。

Wool Protease 的市場定位，正是作為此類「生物整理」的一個工具。它可被整合到染整廠的濕處理流程中，用於降低羊毛表面鱗片的摩擦性，也可與其他前處理或後整理配合，改善單獨酵素處理時可能出現的效果不均或纖維損傷問題。

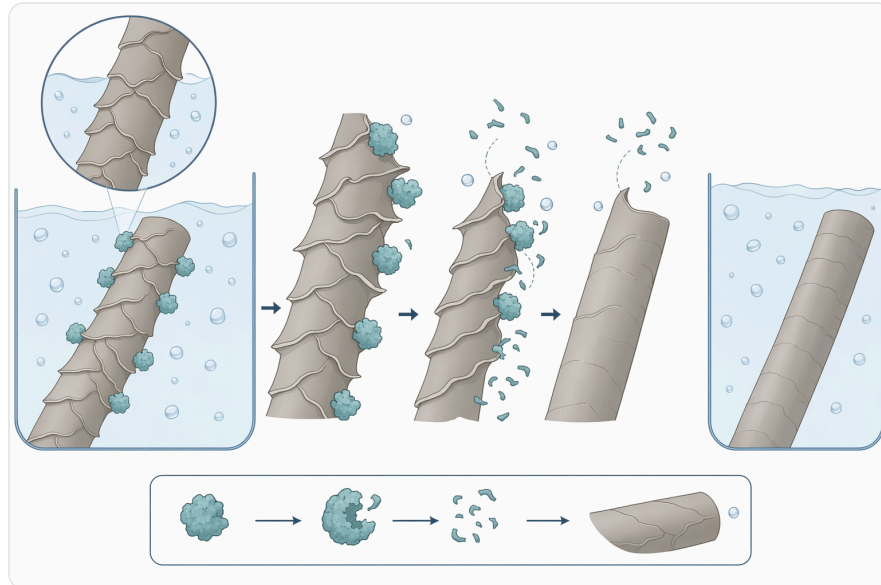


Figure 1. 羊毛蛋白酶會作用於羊毛纖維外表面可及的富含角蛋白鱗片層材料，以降低鱗片粗糙度，而不刻意消化纖維本體。

作用機制：蛋白酶如何改善羊毛表面

羊毛主要由角蛋白構成；角蛋白含有大量胜肽鍵、二硫鍵與多層次纖維結構。蛋白酶的基本催化功能是水解蛋白質中的胜肽鍵，因此在羊毛整理中，酵素會優先攻擊可接觸到的表面蛋白質區域。若反應被控制在纖維外層，鱗片邊緣會變得較圓滑或較不易勾掛，纖維間摩擦下降，氈縮與起球傾向也隨之降低^[1]。

關鍵在於「表面選擇性」。羊毛纖維不是均質材料；外層 cuticle、細胞膜複合體與內部 cortex 對強度、彈性與染色都有不同影響。若蛋白酶反應過度，酵素可能沿著細胞間隙或已受損區域向內部擴散，造成重量損失、拉伸強度下降或布面手感過度鬆散。因此，優良的羊毛蛋白酶整理不是追求最大水解，而是追求「足夠的表面改質」與「最低的內部破壞」之間的平衡^[4]。

研究上已有多種策略用來提升表面選擇性。例如，PEG 修飾蛋白酶可增加酵素的有效分子尺寸，使其較不易滲入羊毛內部，因而把水解作用更集中於纖維表面；相關研究指出，這類改質蛋白酶可影響羊毛纖維表面性質、收縮表現與力學保持率^[4]。另一類策略則是將蛋白酶固定在可逆溶解 / 不溶的聚合物上，使酵素較難深入纖維內層，同時便於反應後分離或降低殘留活性^[5]。

近年也有蛋白酶工程化研究聚焦於羊毛鱗片層。例如，以 Proteinase K 為對象進行底物口袋改造的研究，目標即是提高對羊毛鱗片層的降解效率，顯示「針對羊毛表層角蛋白特性設計酵素」已成為重要方向^[6]。這類研究不等同於市售 Wool Protease 的具體配方，但有助於理解產業為何重視酵素的底物選擇性、擴散限制與反應深度控制。

防氈縮與抗起球：同一表面問題的兩個結果

防氈縮與抗起球都與羊毛表面狀態有關，但兩者並不完全相同。氈縮主要來自鱗片造成的定向摩擦與纖維集合體收縮；起球則與表面毛羽形成、毛羽纏結、毛球長大與毛球脫落速度有關。蛋白酶可透過削弱或去除部分外露毛羽、降低鱗片摩擦、改善布面平滑度，對兩者產生幫助^[2]。



Figure 2. 受控的羊毛蛋白酶整理可用於改善氈縮、起球與起毛、手感粗硬、潤濕障礙，以及染色均勻性。

然而，抗起球效果通常比防氈縮更依賴布料結構。紗線捻度、織法、纖維長度、混紡比例、染色或樹脂整理狀態，都會影響毛球形成。蛋白酶若處理不足，可能只改善手感而無明顯抗起球；若處理過度，雖然毛羽減少，卻可能犧牲強度或造成布面過度毛化。因此在實務上，Wool Protease 更適合被視為「羊毛表面調控工具」，而不是單一保證所有布種都達到相同抗起球等級的萬用添加物^[4]。

與傳統防縮整理的比較

下表整理羊毛防縮常見路線的技術差異。比較目的在於說明 Wool Protease 的適用位置，而非宣稱任何單一方法在所有產線中絕對優越。

整理路線	主要機制	優點	主要限制	適合的使用情境
氯化 / 氧化加樹脂	氧化鱗片並以聚合物覆膜降低摩擦	工業成熟、效果強	可能產生含鹵廢水與手感變化；環境壓力較高	既有大型防縮產線、對效果穩定性要求極高的品項
Wool Protease 蛋白酶整理	受控水解表面角蛋白與毛羽	條件較溫和，可降低化學負擔，改善手感	過度處理可能損傷強度；需控制表面選擇性	羊毛後整理、防氈縮、抗起球、生物拋光
蛋白酶 + 生物表面活性劑	改善濕潤與酵素接觸，協同表面改質	可提升處理均勻性與環境友善性	配方與布種相容性需驗證	追求低污染與溫和防縮的羊毛條或布料處理
等離子體 + 酵素	先以物理方式活化表面，再酵素水解	可提升酵素可及性並減少化學使用	需設備支援；放大條件需調整	高附加價值羊毛布、精密表面改質
液氮 + 蛋白酶	以液氮改變表面與纖維可及性，再進行酵素處理	研究顯示可改善表面改質與防縮	設備、安全與製程整合門檻較高	已具備液氮處理能力或研發型產線

生物表面活性劑與酵素的組合曾被用於羊毛條的環境友善防氈縮研究，重點在於改善纖維表面潤濕與酵素接觸，使處理更均勻^[3]。等離子體與酵素的組合也被研究為較清潔的羊毛改質流程；空氣等離子體可改變羊毛表面能與可及性，後續酵素處理則進一步調整鱗片結構^[7]。

液氮與蛋白酶的組合則代表另一種表面改質路線。相關研究討論液氮與蛋白酶對羊毛表面改質及防縮性的影響，顯示在適當條件下，前處理可改變羊毛對蛋白酶的反應方式，進而影響最終防縮效果^[8]。不過，這些組合工藝往往涉及設備、成本與安全管理，較適合由具備相應製程能力的染整廠評估。

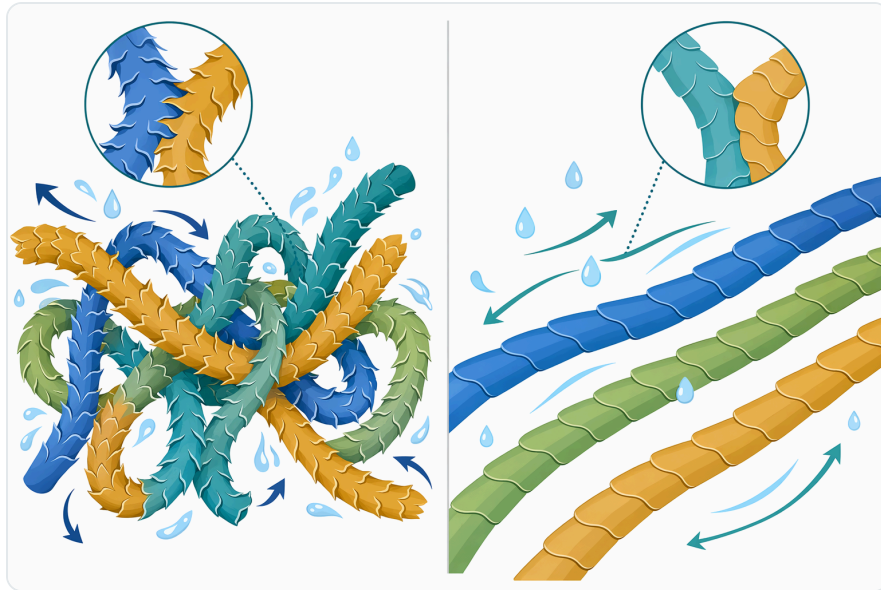


Figure 3. 當潮濕且受攪動的羊毛纖維發生定向移動，並透過表皮鱗片間的摩擦彼此鎖結時，就會產生氈縮。

研究證據：蛋白酶整理的可行性與邊界

羊毛酵素整理並非新概念。早期關於羊毛纖維改質酵素的研究已指出，蛋白酶可改變羊毛表面、手感與收縮行為，但同時必須面對纖維損傷與反應控制問題^[2]。因此，今日 Wool Protease 的技術討論不應停留在「酵素比較環保」的概括說法，而應具體關注：酵素如何接觸表面、如何停止反應、如何避免向內部擴散，以及如何與布料既有整理相容。

PEG 修飾蛋白酶研究提供了一個重要證據方向：增加酵素分子尺寸與改變酵素表面性質，可降低其進入羊毛內部的可能性，讓表面改質更可控^[4]。這支持了羊毛蛋白酶整理的核心工程邏輯——不是單純提高酵素反應，而是透過酵素型態、預處理與流程條件控制反應位置。

可逆聚合物固定化蛋白酶研究也支持類似觀點。將蛋白酶與水溶性 / 不溶性可逆聚合物系統結合，可用於羊毛處理，目的在於限制酵素作用範圍並改善處理後的分離或控制^[5]。對產業而言，這說明了為何「自由酵素直接長時間處理」未必是最佳答案；真正重要的是讓酵素在需要的位置、需要的時間內作用。

另外，聚多巴胺修飾蛋白酶對羊毛纖維防縮性的研究，則顯示表面黏附性材料與蛋白酶結合可能改善酵素在羊毛表面的定位與處理效果^[9]。這類技術仍偏研究導向，但它清楚反映了同一個產業需求：提高表面作用、降低深層損傷。

製程整合：Wool Protease 在染整線中的位置

在實務上，Wool Protease 通常會被放在濕處理或後整理流程中，處理對象可以是羊毛布、羊毛針織物、羊毛條或羊毛混紡品。典型流程會先移除影響潤濕與酵素接觸的油脂、污物或加工助劑，再讓酵素在受控的水相條件下接觸纖維表面，之後透過洗滌、條件改變或後續整理降低殘留反應風險。

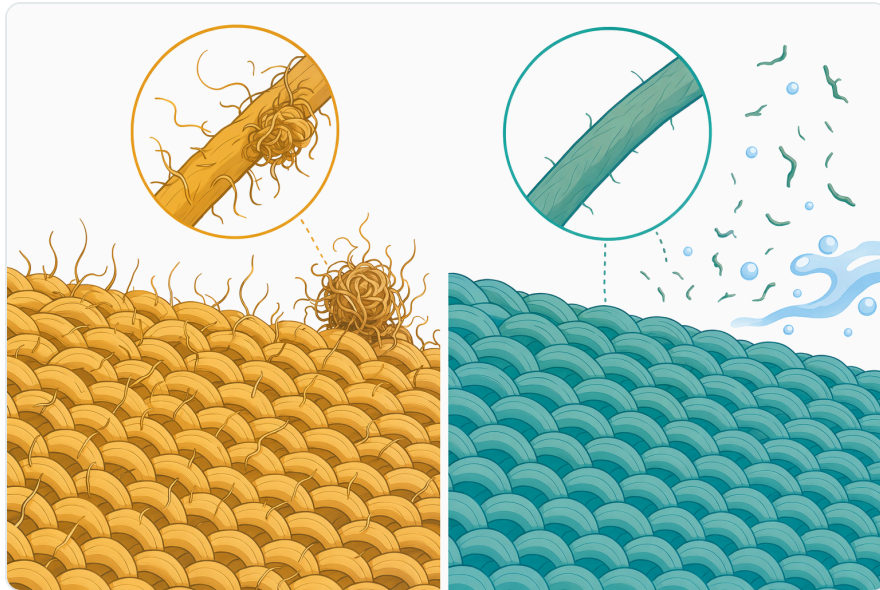


Figure 4. 抗起球蛋白酶處理可削弱外露的表面原纖維，並減少與鱗片相關的勾掛作用，從而降低毛球持續附著的可能。

需要注意的是，酵素整理的效果不只由酵素本身決定。pH、溫度、處理時間、浴中助劑、機械作用、浴比、布種緊密度與前處理狀態，都會改變水解深度。由於 Enzymes.bio 是供應商而非製造商或實驗室，產品頁提供的是產品應用與供應資訊；實際工藝窗口仍應由使用者依自身布種、設備與品質目標建立內部製程條件。

已染色羊毛尤其需要謹慎。蛋白酶可能改變纖維表面，使染料表觀深度、光澤或色差產生變化；若搭配還原、氧化、等離子體或其他前處理，對染料與助劑的影響也會增加。文獻中關於等離子體與酵素、液氮與蛋白酶，以及生物表面活性劑與酵素的研究，都說明了羊毛表面處理具有明顯的系統性：同一酵素在不同前處理後，結果可能不同^[7]。

品質效益：從手感到尺寸穩定

若製程控制得當，Wool Protease 可在多個品質面向產生效益。首先是尺寸穩定性：藉由降低鱗片間摩擦，洗滌過程中的纖維定向移動會減少，布料或成衣較不易出現明顯氈縮。第二是表面外觀：部分毛羽被削弱或移除後，布面可能更平滑，抗起球傾向改善。第三是手感：較低的表面粗糙度通常有助於提升柔軟度與滑順感^[2]。

在染整表現上，蛋白酶造成的表面改質可能改善潤濕性與染料接近纖維的方式，但這並不代表所有染色都會自動變好。染料類型、染色階段、纖維損傷程度與後整理樹脂都會影響結果。某些生物處理研究同時討論防氈縮、防起球與染色性改善，顯示多重效益是可能的，但前提仍是製程條件與材料相容[3]。

對成衣品牌與代工廠而言，最直接的商業價值通常是降低洗後縮率投訴、改善穿著後表面毛球、提升手感與支援較低污染的產品故事。對染整廠而言，價值則在於提供不完全依賴氯化工藝的羊毛後整理選項，並可依產品定位與設備條件，與等離子體、液氨、生物表面活性劑或其他整理步驟整合[8]。



Figure 5. 不同類別的蛋白酶在浴液相容性、角蛋白表面活性，以及處理過度時造成過量失重或強力損失的風險方面各不相同。

風險與限制：蛋白酶不是越強越好

羊毛蛋白酶處理最大的風險是纖維強度下降。當蛋白酶過度水解，或在高機械作用與不適合條件下長時間反應，纖維內部結構可能受損，導致拉伸強度、撕裂強度或耐磨性下降。PEG 修飾、固定化與表面定位技術之所以被研究，正是因為自由蛋白酶在羊毛上的深層擴散與不可控水解是實際限制[4]。

第二個風險是外觀變化。羊毛表面被改質後，光澤、蓬鬆度、絨感、染色深淺與手感都可能改變。對高支數羊毛、精紡布料或高價成衣而言，輕微外觀差異也可能影響產品判定。這也是為何生物整理應被納入完整品質管理，而不是當作單純添加一道「環保酵素」程序[7]。

第三個限制是不同羊毛基材差異很大。羊種、纖維細度、鱗片密度、前處理歷史、染色狀態、混紡纖維與織物結構都會改變酵素可及性。蛋白酶對蛋白質有水解能力，但羊毛表層的二硫鍵與脂質層會限制酵素進入；角蛋白酶與一般蛋白酶在底物偏好上也可能不同，因此不能把所有「蛋白酶」視為同一效果[10]。

與其他生物整理技術的關係

Wool Protease 主要負責蛋白質水解；若目標是修補、接枝或形成保護層，其他酵素或生物聚合物可能更合適。例如，轉麩醯胺酶可催化蛋白質之間的交聯反應，研究顯示其處理羊毛織物後，可提高對洗滌劑損傷的抵抗力，這與蛋白酶「削弱或移除表層結構」的方向不同^[11]。

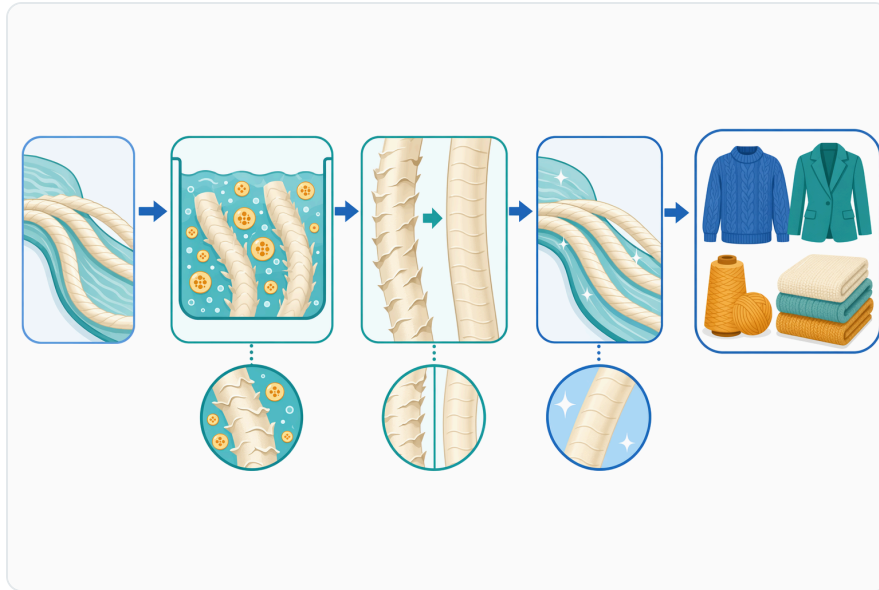


Figure 6. 羊毛複合整理流程通常會在蛋白酶處理前採用溫和的表面開放步驟，使酶能更有效地接觸鱗片結構。

另有研究使用轉麩醯胺酶介導角蛋白反應，或透過幾丁聚醣接枝改善羊毛性能。這些方法更偏向在羊毛表面建立功能層或增強特定性能，而非單純降低鱗片摩擦^[12]。辣根過氧化酶促進幾丁聚醣接枝於羊毛的研究，也顯示生物催化可用於羊毛表面功能化，不限於蛋白水解^[13]。

因此，Wool Protease 可被視為羊毛生物整理工具箱中的「表面減法」工具：它透過水解降低摩擦與毛羽；而轉麩醯胺酶、過氧化酶、幾丁聚醣接枝等方法則更像「表面加法」或「交聯修飾」。在高階羊毛產品中，兩類概念有時可被分開或順序整合，但需避免相互干擾，例如先水解後接枝與先接枝後水解的結果可能完全不同^[14]。

採用 Wool Protease 時的製程控制重點

製程設計應以「控制反應深度」為中心。羊毛後整理廠通常會關注幾個結果：洗後尺寸變化、起球趨勢、手感、重量變化、強度保持、色差與外觀一致性。這些指標之間可能互相牽制，例如更強的表面水解可能帶來更好的平滑度，但也提高強度損失風險^[4]。

在製程上，前處理的角色很重要。清潔、脫脂或改善潤濕可使酵素更均勻接觸羊毛表面；等離子體等物理處理可提高表面可及性；生物表面活性劑則可能協助纖維分散與濕潤。這些策略的共同目標不是讓酵素「更猛烈」，而是讓酵素「更準確」地作用於表層^[3]。

反應後的停止與洗淨同樣關鍵。蛋白酶若殘留在布面或浴液中，可能在後續濕熱條件下繼續作用。雖然工業酵素通常可透過條件改變與洗滌降低活性與殘留，但使用者仍應依自身設備與產品規格設定可驗證的內部控制方式。Enzymes.bio 供應的 Wool Protease 隨訂單提供 CoA 與 SDS，可作為收貨、儲存與安全管理文件的一部分。

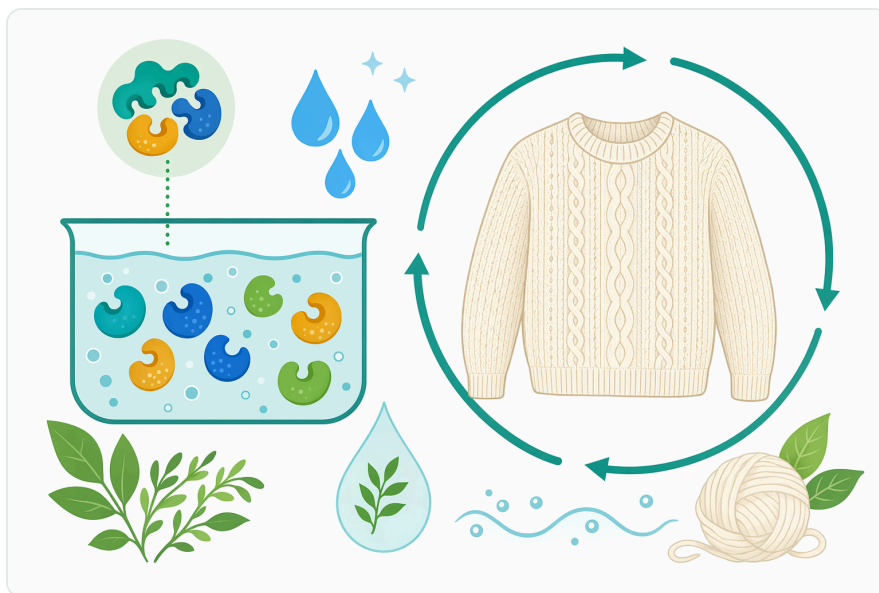


Figure 7. 以酶為基礎的羊毛整理有助於達成較低環境衝擊的加工目標，並可透過提升抗氈縮與抗起球性能來延長服裝壽命。

儲存、安全與文件

工業酵素屬於蛋白質型加工助劑，操作時需避免粉塵或氣膠暴露，並依 SDS 中的防護、儲存與處置資訊進行管理。酵素對皮膚、眼睛或呼吸道可能造成刺激或致敏風險，因此在開封、投料與清潔設備時，應遵循工廠既有的化學品與生物製劑安全程序。

文件面上，Enzymes.bio 的 Wool Protease 以 1 kg 包裝在線上直接銷售，CoA 與 SDS 會隨訂單提供。由於 Enzymes.bio 不是製造商，也不是實驗室，本文不把產品描述為原廠研發或自有檢測服務；對使用者而言，它是一項可納入自家染整流程評估的工業酵素供應品。

結論：Wool Protease 適合哪些羊毛後整理需求

Wool Protease 適合希望以較溫和生物整理方式改善羊毛防氈縮、抗起球、布面平滑度與手感的染整廠、羊毛製品代工廠與研發團隊。其技術基礎來自蛋白酶對羊毛表層角蛋白的受控水解；研究證據也顯示，透過 PEG 修飾、聚合物固定化、等離子體、生物表面活性劑或其他前處理，可提升表面選擇性

並降低纖維損傷風險^[5]。

最重要的判斷標準不是「是否使用酵素」，而是「能否把酵素作用限制在需要的表面範圍」。若流程設計得當，Wool Protease 可成為傳統防縮工藝的替代或補強工具；若流程控制不足，蛋白酶也可能造成強度、外觀或色差風險。對追求環境友善羊毛整理、降低氯化依賴並提升產品手感的產線而言，Wool Protease 是具有清楚機制與研究基礎的實用選項^[3]。

線上訂購 Wool Protease – Anti-Felting & Anti-Pilling Enzyme For Wool Finishing

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 Wool Protease – Anti-Felting & Anti-Pilling Enzyme For Wool Finishing →](#)

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. Song, P., Zhang, X., Wang, S., Xu, W., Wang, F., Fu, R., & Wei, F. (2023). Microbial proteases and their applications. *Frontiers in Microbiology*, 14.
2. Heine, E., Hollfelder, B., Lorenz, W., Thomas, H., Wortmann, G., & Höcker, H. (1998). Enzymes for Wool Fiber Modification.
3. Iglesias, M., Sequeiros, C., García, S., & Olivera, N. (2019). Eco-friendly anti-felting treatment of wool top based on biosurfactant and enzymes. *Journal of Cleaner Production*.
4. Jus, S., Schroeder, M., Guebitz, G., Heine, E., & Kokol, V. (2007). The influence of enzymatic treatment on wool fibre properties using PEG-modified proteases. *Enzyme and Microbial Technology*, 40, 1705-1711.
5. Silva, C. J., Zhang, Q., Shen, J., & Cavaco-Paulo, A. (2006). Immobilization of proteases with a water soluble-insoluble reversible polymer for treatment of wool. *Enzyme and Microbial Technology*, 39, 634-640.
6. Zhao, L., Ma, X., Ding, Y., Zheng, K., Wang, K., Lu, F., & Liu, Y. (2025). Engineering a Protease K for Efficient Degradation of Wool Scale Layer Using a Substrate Pocket Modification. *Fermentation*.
7. Zhang, R., & Wang, A. (2015). Modification of wool by air plasma and enzymes as a cleaner and environmentally friendly process. *Journal of Cleaner Production*, 87, 961-965.
8. Shang, X., Wang, Q., Jiang, Z., & Ma, H. (2023). Effect of liquid ammonia and protease on surface modification and shrink resistance of wool. *Surface and Interface Analysis*, 56, 12 - 3.

9. Pu-Zhao, Xu, P., Zhang, X., Du, Y., Lei, J., & Xu, S. (2024). Effect of polydopamine-modified protease on shrink-resist properties of wool fiber. *Journal of the Textile Institute*, 116, 2253 - 2260.
10. Vidmar, B., & Vodovnik, M. (2018). Microbial Keratinases: Enzymes with Promising Biotechnological Applications. *Food Technology and Biotechnology*, 56, 312 - 328.
11. Cortez, J., Bonner, P., & Griffin, M. (2005). Transglutaminase treatment of wool fabrics leads to resistance to detergent damage.. *Journal of Biotechnology*, 116 4, 379-86 .
12. Chen, N., Liu, C., & Ashby, R. (2021). Modification of Wool Fibers via Base/Cationic Detergent Pretreatment and Transglutaminase-mediated Reaction of Keratin. *Journal of Natural Fibers*, 19, 10924 - 10934.
13. Xu, L., Zhang, N., Wang, Q., Yuan, J., Yu, Y., Wang, P., & Fan, X. (2019). Eco-friendly Grafting of Chitosan as a Biopolymer onto Wool Fabrics Using Horseradish Peroxidase. *Fibers And Polymers*, 20, 261-270.
14. Wang, Y., Zhang, N., Wang, Q., Yu, Y., & Wang, P. (2021). Chitosan grafting via one-enzyme double catalysis: An effective approach for improving performance of wool.. *Carbohydrate Polymers*, 252, 117157 .


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

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。