

# Alkaline Cellulase for Laundry Detergents : 鹼性纖維素酶在洗衣配方與棉質織物護理中的主要應用

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

Alkaline Cellulase for Laundry Detergents ( 洗衣用鹼性纖維素酶 ) 主要用於鹼性洗滌配方，協助分解植物性纖維污垢、移除棉織物表面微纖維，並改善衣物外觀、手感與低溫洗淨表現。其核心價值不是「漂白」或「溶解整件布料」，而是在洗滌條件下選擇性削弱纖維素類污垢與棉表面毛羽，使污垢更容易被界面活性劑與機械力帶走。Enzymes.bio 以供應商身分提供此類酵素原料，產品以 1 kg 單位在線上銷售，CoA 與 SDS 會隨訂單提供。

## 產品定位：洗衣配方中的鹼性纖維素酶是什麼？

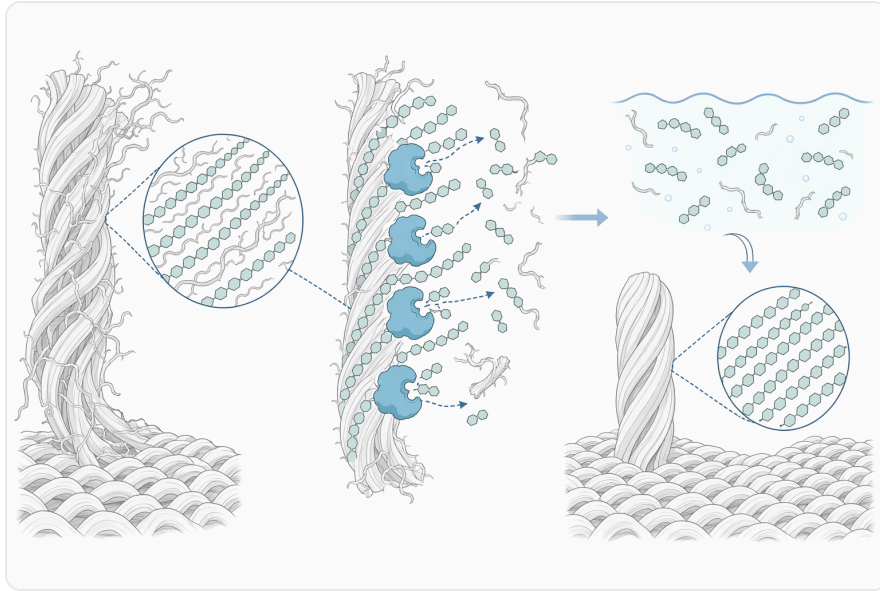
纖維素酶 ( cellulase ) 不是單一反應模式的酵素，而是一組能水解纖維素與相關  $\beta$ -葡聚糖結構的酵素家族；在洗衣配方中，最常被強調的是能在鹼性、含界面活性劑、含助洗劑的環境中維持功能的「鹼性纖維素酶」。近年從鹽鹼土壤與其他極端環境分離的 *Bacillus* 等菌株研究顯示，某些微生物可產生具鹼耐受特徵的纖維素酶，這也說明為何此類酵素長期被視為洗滌劑與紡織處理的候選生物催化工具 [1]。

對洗衣劑而言，鹼性纖維素酶的主要任務可分成兩類：第一，處理草漬、葉片殘渣、泥土中植物纖維、果蔬殘留等含纖維素或半纖維素結構的污垢；第二，修飾棉、麻或含棉混紡布料表面的微纖維，降低起毛球與灰霧感。與蛋白酶、脂肪酶、澱粉酶相比，纖維素酶不是針對血漬、油脂或澱粉食物殘留，而是針對植物細胞壁多醣與纖維素基材的表面結構，因此在多酵素洗衣配方中常扮演「外觀維護」與「植物性污垢輔助去除」角色；已有分離研究同時篩選可產生澱粉酶、蛋白酶、脂肪酶與纖維素酶且與洗劑條件相容的細菌，反映多酵素體系在清潔產品中的實務重要性 [2]。

Enzymes.bio 供應的 Alkaline Cellulase for Laundry Detergents 可作為洗衣粉、洗衣液、洗衣凝膠、紡織後整理或商業洗衣配方中的酵素型原料。需要明確區分的是，Enzymes.bio 是供應商，不是酵素製造商，也不是研發或檢測實驗室；本文提供的是 B2B 技術教育資訊，目的在於協理解產品機制、應用邏輯與配方導入時的關鍵限制，而非宣稱特定製程來源或製造能力。

## 為什麼洗衣劑需要「鹼性」纖維素酶？

多數洗衣配方會使用鹼性助洗體系，以提升油污乳化、顆粒分散與整體洗淨力；然而蛋白質酵素在高 pH、界面活性劑、螯合劑、氧化物或其他配方成分中可能發生構形變化而失去活性。因此，洗衣用纖維素酶必須同時具備底物辨識能力與配方環境耐受性；在 kraft 黑液等強鹼相關工業系統中使用鹼耐受木聚醣酶與纖維素酶的研究，也從另一個應用場景說明鹼性多醣水解酵素在高 pH 環境中具有實務需求 [3]。



**Figure 1.** 鹼性纖維素酶作用於棉布表面可接觸的纖維素微纖維，而不是分解整件衣物的主體結構。

「鹼性」不代表酵素在所有強鹼、漂白或高溫條件下都能無限制工作，而是指其蛋白質結構、表面電荷與催化微環境較能適應洗滌常見的偏鹼條件。許多鹼適應酵素來自嗜鹼或耐鹼微生物，或透過篩選與後續配方穩定化，使其在清潔產品的使用情境下保持足夠功能；這一點與洗衣用鹼性蛋白酶、角蛋白酶、澱粉酶等其他酵素的開發邏輯相似，相關研究反覆強調「耐界面活性劑」「耐鹼」「配方相容」是洗滌酵素能否實用化的重要條件 [4]。

在低溫洗滌趨勢下，酵素的角更突出。降低洗衣水溫可減少能源消耗，但也會削弱傳統化學洗淨與污垢溶解速率；若酵素能在較低溫條件下仍對特定底物發揮水解作用，就能補足部分溫度下降造成的洗淨缺口。低溫、環境友善洗劑方向不只出現在纖維素酶研究，也可見於冷適應鹼性磷酸酶等洗劑候選酵素的開發，顯示低溫酵素技術是清潔配方的重要研發方向之一 [5]。

## 作用機制：它如何分解植物性污垢與改善布面？

纖維素是由葡萄糖單元以  $\beta$ -1,4 糖苷鍵連接而成的線性多醣，是植物細胞壁與棉纖維的主要結構成分。纖維素酶通常包含內切型酵素與外切型酵素等不同功能組分：內切型酵素可在纖維素鏈內部切割，降低聚合物長度並產生新的鏈端；外切型酵素則可從鏈端逐步釋放較小寡糖；若配方或酵素系統中存在進一步水解能力，寡糖可變得更易溶於水。此類分解並非瞬間「溶掉」所有纖維素，而是在洗滌時間、溫度、機械力與界面活性劑共同作用下，逐步削弱污垢結構與附著力；纖維素酶對木質纖維材料性質的改變，也反映其可透過水解作用調整纖維素基材表面與可及性 [6]。

對草漬與植物殘渣而言，污垢並不是單純黏在衣物表面，而常由葉綠體色素、植物細胞壁碎片、土壤微粒、蛋白質與多醣混合形成複合污垢。鹼性纖維素酶能攻擊其中纖維素與相關多醣骨架，使植物碎片更容易崩解；界面活性劑再負責乳化疏水成分、分散顆粒，洗衣機的翻動與水流則把鬆動後的污垢帶離布面。這也解釋為什麼纖維素酶常與蛋白酶、脂肪酶、澱粉酶一起被設計進多酵素配方：不同酵素分別削弱複合污垢中的不同「黏結點」，而非彼此取代 [7]。

對棉質織物而言，纖維素酶的功能更像精細表面修飾。衣物經穿著與洗滌後，纖維表面會產生微小毛羽與斷裂短纖，這些突起物容易纏結成毛球，也會散射光線，使深色衣物看起來灰霧、舊化。適當使用纖維素酶可優先作用於較外露、可及性較高的微纖維，減少突出的毛羽，使布面更平滑；商用纖維素酶配方被用於聚酯 / 棉分離研究時，也顯示纖維素酶能針對棉成分進行選擇性解聚，凸顯其對纖維素基材的底物專一性 [8]。

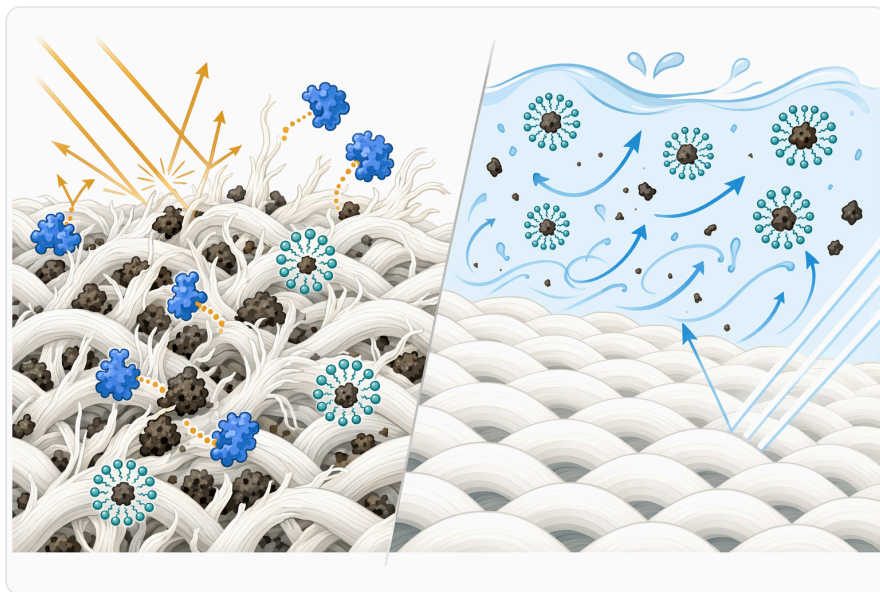


Figure 2. 修剪凸起的棉纖維可減少穿著後棉布表面的物理性污垢滯留與光散射。

這種表面修飾也說明了風險邊界：纖維素酶對棉有作用，因此不能把「可改善布面」理解為「任何條件下都不影響布料」。在合理配方與使用條件下，其目標是移除表層毛羽與污垢，而不是破壞主體纖維；但若酵素類型、用量、時間、pH、溫度或機械力不適合，含棉布料仍可能出現過度磨耗或強力下降。這也是纖維素酶與蛋白酶、脂肪酶不同之處：它的底物可能同時存在於「污垢」與「布料本身」，因此配方窗口比單純針對外來污垢的酵素更需要平衡。

## 與其他洗衣酵素的功能比較

下表整理鹼性纖維素酶在洗衣配方中的定位，並與常見洗衣酵素比較。重點不是哪一種酵素「最好」，而是每種酵素對應不同污垢化學結構；多酵素洗衣劑的效能通常來自互補，而不是單一酵素包辦所有污垢。

酵素類型	主要作用底物	洗衣中的典型貢獻	與鹼性纖維素酶的差異
鹼性纖維素酶	纖維素、植物細胞壁多醣、棉表面微纖維	草漬與植物性殘渣輔助去除、降低起毛球、改善棉質布面平滑度	會作用於含纖維素布料表面，因此需控制配方條件
鹼性蛋白酶	蛋白質污垢，如汗漬、血漬、蛋白類食物殘留	分解蛋白質黏結物，提升複合污垢鬆動	不直接分解纖維素；洗劑穩定化研究多集中在耐鹼與耐界面活性劑 [9]
脂肪酶	三酸甘油酯與油脂污垢	改善油脂、皮脂與食物油污去除	主要處理疏水油污，需依賴界面活性劑協同
澱粉酶 / 支鏈澱粉酶	澱粉、糊精、支鏈多醣	去除米飯、麵食、醬料等澱粉型污垢	對植物細胞壁纖維素骨架作用有限；部分新型支鏈澱粉酶也被評估作洗劑添加物 [10]
角蛋白酶	角蛋白類基質	在特定蛋白污垢與廢棄物生物轉化中具潛力	與衣物護理的主流用途不同，但耐熱、耐界面活性劑研究提供洗劑酵素相容性參考 [4]

由表可見，鹼性纖維素酶的獨特價值在於「纖維素專一性」與「布面外觀管理」。如果配方目標是強化草漬、泥土植物殘留、棉質衣物舊化感與毛球問題，纖維素酶的貢獻會比單純增加蛋白酶或脂肪酶更直接；相反地，若主要污垢是血漬、油脂或澱粉，則需要其他酵素或界面活性劑體系一起支援。洗劑相容性研究也顯示，能在清潔產品中穩定運作的酵素通常需要同時考慮 pH、界面活性劑、金屬離子、配方保存與實際洗滌條件，而不能只看單一酵素活性描述 [11]。

## 主要應用一：植物性污垢、草漬與顆粒污垢輔助去除

草漬難洗，並不只是因為「綠色」明顯，而是因為植物細胞壁碎片可與泥土顆粒、蛋白質、蠟質與色素形成複合殘留。纖維素酶能切割植物細胞壁中的纖維素結構，使草葉碎片與植物性殘渣變得較脆弱、較容易分散；當界面活性劑降低表面張力並包覆污垢微粒後，水流與機械力即可把被削弱的污垢帶走。此機制特別適合用來補強低溫洗滌，因為酵素催化能在不依賴高溫的情況下提供特定化學鍵水解能力；洗劑用生物酵素被視為較綠色清潔工具的原因之一，即是能在較溫和條件下提供目標污垢分解功能 [7]。

泥土污垢也常與植物纖維殘片共存。單靠陰離子或非離子界面活性劑可分散部分顆粒，但若植物性膠結物仍黏附在織物纖維間，沖洗後可能留下灰霧感或再沉積。鹼性纖維素酶可削弱這些植物性黏結結構，使顆粒較不易卡在布面微孔或纖維交叉處；*Bacillus subtilis* 等菌株的基因功能分析與纖維素酶表徵研究，也持續支持微生物來源纖維素酶可作為多醣基質降解工具 [1]。



Figure 3. 酸性、中性與鹼性纖維素酶的主要差異，在於其纖維素表面活性最適用的 pH 環境不同。

## 主要應用二：降低起毛球與改善棉質衣物外觀

起毛球是棉、棉混紡與部分短纖織物常見的外觀問題。衣物在穿著與洗滌過程中，纖維表面受到摩擦形成毛羽；這些毛羽再被扭結、壓實，形成肉眼可見的毛球。鹼性纖維素酶可在洗滌或後整理時切短、削弱外露微纖維，使它們較容易在水流與機械作用下脫落，進而降低毛球形成基礎。此概念與紡織生物拋光 (biopolishing) 相通：酵素不只是清潔助劑，也可作為布面微結構調整工具。

布面平滑後，光線散射降低，顏色看起來可更鮮明；觸感也可能因毛羽減少而變得較柔順。需要注意的是，這類效益與布種、紗線結構、染整方式、衣物舊化程度和洗衣程序密切相關，不能以單一數值概括所有情境。商用纖維素酶配方在聚酯 / 棉混紡分離研究中被用來針對棉組分進行選擇性處理，這提醒配方開發者：纖維素酶的選擇性是優點，也是需要控制的變因 [8]。

## 主要應用三：低溫、節能與較溫和洗滌配方

家庭與商業洗衣正在朝低溫、短循環與節水節能發展，但低溫通常會降低油污流動性、化學反應速率與部分污垢溶解度。酵素可彌補其中一部分限制，因為它們以底物專一性的催化方式作用於特定污垢鍵結；只要在低溫下仍維持足夠構形與活性，就能支援較溫和的洗滌設計。家庭洗衣活動的環境影響研究指出，洗衣行為與資源使用密切相關，因此能支援低溫與效率提升的技術具有環境管理意義 [12]。

對品牌或配方開發者而言，鹼性纖維素酶可與界面活性劑、助洗劑、抗再沉積聚合物與其他酵素形成互補。界面活性劑負責濕潤、乳化與分散；助洗劑調整水質與鹼度；抗再沉積成分降低污垢回附；纖維素酶則針對植物性與布面纖維素結構提供催化作用。*Bacillus subtilis* SPB1 生物界面活性劑在洗衣配方中的相容性與洗淨表現研究，雖不等同於纖維素酶研究，但說明清潔配方中「生物來源功能物」必須放在完整配方環境中評估，而不是孤立看待 [13]。



**Figure 4.** 鹼性纖維素酶在洗衣中的主要效益包括讓棉織物看起來更亮白、改善顆粒性污垢釋放、減少起毛、提升手感平滑度，並支持富含棉纖維織物護理的功效宣稱。

## 配方相容性：界面活性劑、漂白系統與多酵素共存

---

洗衣配方的化學環境對酵素很有挑戰。陰離子界面活性劑可能與蛋白質表面電荷互動，非離子界面活性劑可能改變疏水區域暴露，螯合劑會影響金屬離子平衡，氧化型漂白成分則可能攻擊蛋白質胺基酸側鏈。鹼性纖維素酶若要成為穩定的洗劑原料，需要在配方設計上避免被快速失活；其他鹼性洗衣酵素研究，例如鹼性蛋白酶與奈米花固定化系統，也反映提升洗劑環境穩定性一直是工業酵素應用的重要課題 [14]。

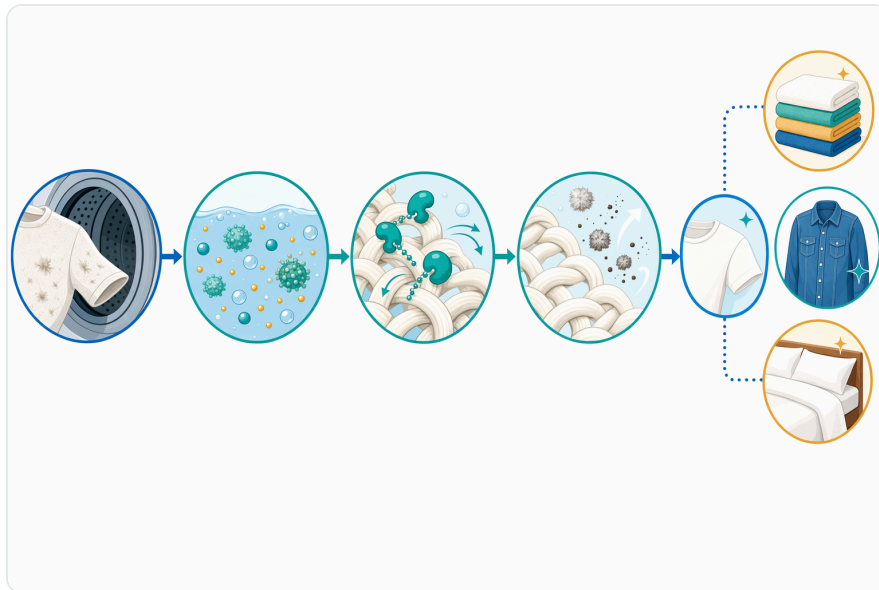
多酵素配方還涉及酵素之間的相互影響。蛋白酶可能分解其他酵素蛋白，漂白劑可能削弱所有酵素，界面活性劑則可能對不同酵素產生不同程度的穩定或去穩定效果。因此，鹼性纖維素酶在配方中通常不是單獨思考，而是與蛋白酶、澱粉酶、脂肪酶、香精、聚合物、螯合劑和防腐系統一起考量；海洋 *Bacillus subtilis* 來源的洗劑穩定鹼性蛋白酶研究即指出，洗劑添加酵素常需面對實際配方成分相容性的問題 [11]。

漂白系統尤其需要謹慎。氧化型漂白劑可提升白度與除漬，但也可能氧化酵素蛋白；若配方希望同時使用酵素與漂白成分，通常需要在劑型、添加順序、包覆或穩定化策略上進行平衡。研究中可見耐氧化、耐鹼蛋白酶被開發用於洗衣配方，顯示氧化穩定性是洗劑酵素的重要方向；對纖維素酶而言，也需在產品應用情境中把氧化暴露視為影響因素，而不是假設所有鹼性纖維素酶都能耐受所有漂白環境 [15]。

## 適用纖維與風險邊界：棉、麻、混紡與合成纖維

---

鹼性纖維素酶主要作用於纖維素，因此棉、麻、黏膠、萊賽爾及其他纖維素系纖維最可能受到其直接影響。這種影響可被設計成正向效果，例如降低毛羽、改善手感與協助植物性污垢去除；但在過度處理時，也可能造成重量損失、表面磨耗或強力下降。相較之下，聚酯、尼龍等合成纖維本身不是纖維素酶底物，因此不會被纖維素酶以同樣機制水解；但若是聚酯 / 棉混紡，酵素仍會作用於其中的棉成分 [8]。



**Figure 5.** 在洗滌劑應用中，鹼性纖維素酶必須能在產品劑型中保持穩定，分散到洗滌液中，接觸棉布表面，並配合攪動與漂洗去除鬆動的纖維與污垢。

染整加工會改變風險。樹脂整理、柔軟劑殘留、塗層、防皺加工、深色染料與特殊印花都可能改變酵素可及性與布面反應；同一支纖維素酶在不同布種上，可能表現為改善手感，也可能表現為外觀變化過度。對商業洗衣與紡織後整理而言，最重要的是把纖維素酶視為「表面工程工具」，而不是單純清潔助劑；它的效益來自對纖維素微結構的可控作用，因此也需要避免過度作用。

## 產業應用場景：家用洗衣、商業洗衣與紡織後整理

在家用洗衣劑中，Alkaline Cellulase for Laundry Detergents 可被用於強化植物性污垢處理、衣物護色外觀、抗毛球與低溫洗淨訴求。對終端消費者而言，最容易感知的不是「纖維素水解」這個化學概念，而是衣物洗後較不灰霧、棉質表面較平整、草漬或泥草混合污垢較容易洗淨。若品牌以酵素作為環境友善或低溫洗滌賣點，應避免過度宣稱，因為最終效果仍取決於完整配方、洗衣機型、用水硬度、污垢類型與布料狀態。

在商業洗衣中，例如飯店布草、制服、餐飲工作服與機構洗滌，纖維素酶可協助維持棉質或含棉布品外觀一致性。大量重複洗滌會加速毛羽、灰霧與手感變粗；若酵素條件控制得當，生物拋光效果有機會降低布面老化感。不過商業洗衣也常使用較強的鹼度、較高機械力與漂白系統，這些條件可能放大酵素作用或降低酵素穩定性，因此應以應用端既有流程為基礎評估，而非直接套用家用洗衣邏輯。

在紡織後整理中，鹼性纖維素酶可用於棉布或含棉織物的生物柔整、生物拋光與表面毛羽控制。與機械刷毛、化學柔軟或樹脂整理相比，酵素處理的優勢在於底物選擇性與相對溫和；但其結果受布料結構、前處理、染色條件與後續洗滌影響。纖維素酶生產與應用研究持續出現在固態發酵與工業生物技術文獻中，反映此類酵素在不同生物質與纖維處理場景中的廣泛潛力 [16]。

## 證據強度：哪些結論較穩固，哪些需要情境化？

較穩固的結論是：纖維素酶能水解纖維素類底物，鹼性或耐鹼纖維素酶可在偏鹼環境中發揮作用，而洗衣配方確實需要能耐受界面活性劑與助洗成分的酵素。從鹽鹼環境 *Bacillus* 的纖維素酶表徵、洗劑相容菌株篩選，到多種洗衣酵素的耐鹼研究，都支持「酵素功能必須與洗滌條件匹配」這一原則 [2]。

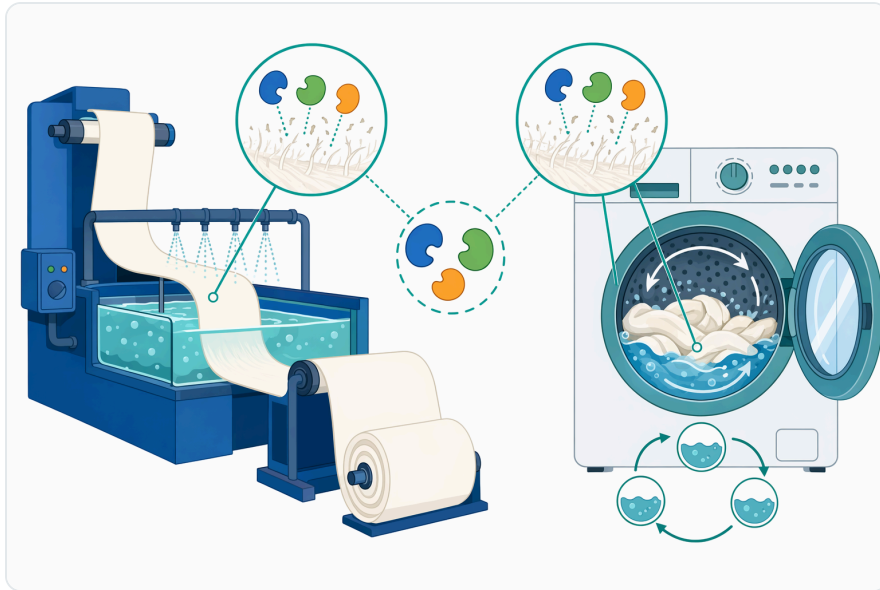


Figure 6. 洗衣用纖維素酶與紡織品生物拋光採用相同原理：在不同製程條件下對纖維素表面進行受控改質。

同樣較有產業基礎的結論是：纖維素酶可用於棉質布面修飾與植物性污垢處理，但效果不是固定常數。不同酵素組分、劑型、配方環境、布料組成與洗滌條件，都會改變實際洗淨與布面結果；因此，技術文件可以說明合理機制與應用方向，但不應把所有布種或所有洗衣情境包裝成必然結果。循環紡織與聚酯 / 棉分離研究對商用纖維素酶配方的探討，也顯示纖維素酶對棉纖維的作用具有實際可觀察性，必須在效益與材料保護間取得平衡 [8]。

證據較需要情境化的部分包括：特定配方中的長期保存穩定性、與某一漂白系統的相容性、對特定高端布料或特殊整理布的外觀影響，以及終端產品能達到的量化去污提升。這些結果通常受配方、劑型與應用條件高度支配，無法只靠酵素名稱推論。鹼性蛋白酶等洗劑酵素研究常以穩定化、交聯或固定化等策略提升配方耐受性，說明「酵素本體」與「最終配方表現」之間仍有工程距離 [9]。

## 安全、文件與供應資訊

酵素是蛋白質原料，粉體或霧化液滴若被吸入，可能造成職業暴露風險；在原料處理、混合、分裝與清潔作業中，應依 SDS 與企業工業衛生規範管理粉塵、通風與個人防護。Enzyme Technical Association 提供的酵素安全與技術文件長期強調，酵素在工業與清潔產品中可安全使用，但前提是遵循適當的處理、暴露控制與標示管理 [17]。

Enzymes.bio 作為供應商，提供 Alkaline Cellulase for Laundry Detergents 的線上 1 kg 單位銷售；CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，以支援品質文件留存與安全資訊管理。由於 Enzymes.bio 不是製造商或實驗室，本文不提供特定製造流程、活性單位定義、分析方法或批次測試設計，也不將產品描述成由 Enzymes.bio 自行研發或生產。

對終端洗衣產品業者而言，法規與標示責任通常落在最終產品端，包括成分標示、過敏或刺激性警語、環境宣稱、消費者使用說明與市場所在地的化學品管理要求。若以「酵素配方」「低溫洗淨」「衣物護理」或「減少毛球」作為商業宣稱，文字應與實際配方驗證結果一致，避免使用「絕對不傷布」「完全無風險」等不符合酵素作用邏輯的表述。

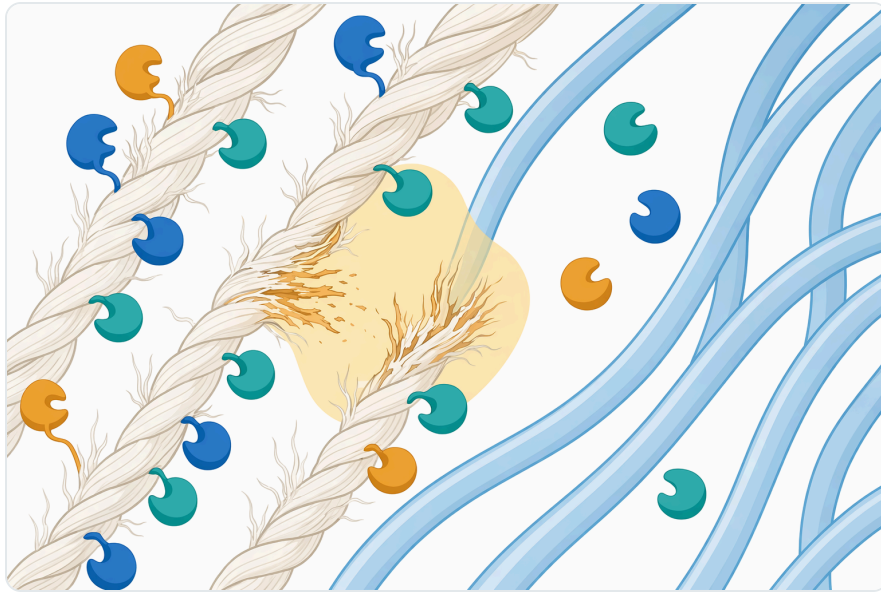


Figure 7. 鹼性纖維素酶預期會作用於棉或富棉織物中可接觸的纖維素，而不會作用於聚酯等非纖維素纖維。

## 結論：鹼性纖維素酶的核心價值

Alkaline Cellulase for Laundry Detergents 的核心價值在於，把纖維素水解能力帶入鹼性洗滌環境：它能針對植物性污垢中的纖維素結構、棉質布面微纖維與起毛球前驅結構發揮作用，補強低溫洗滌與衣物外觀維護。其效益最適合放在完整洗衣配方中理解，與界面活性劑、助洗劑、抗再沉積成分及其他酵素共同形成互補，而不是被視為單一萬能去污成分。

同時，纖維素酶對含纖維素布料具有真實作用，因此也需要尊重配方窗口與材料差異。對棉、麻、黏膠、萊賽爾及含棉混紡織物而言，適當的酵素作用可帶來布面平滑與外觀改善；過度或不適合的條件則可能造成不必要的纖維表面變化。這種「有效但需控制」的特性，正是鹼性纖維素酶在洗衣與紡織應用中最重要技術判斷點。

Enzymes.bio 供應此酵素原料，適合需要以 1 kg 單位採購並導入洗衣配方、商業洗衣或紡織後整理應用的 B2B 使用者。隨訂單提供的 CoA 與 SDS 可支援內部品質與安全文件流程；實際產品表現則應由使用端依自身配方、布料與洗滌條件建立應用資料，才能把鹼性纖維素酶的去污、抗毛球與布面改善效益穩定轉化為終端產品價值。

## 線上訂購 Alkaline Cellulase For Laundry Detergents

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 Cellulase For Laundry Detergents →](#)

## 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. Yao, X., Lin, M., Yan, Y., Jiang, S., Zhan, Y., Su, B., Zhou, Z., ... et al. (2025). Genomic Functional Analysis and Cellulase Characterization for the Enzyme-Producing Strain Bacillus subtilis Y4X3 Isolated from Saline-Alkaline Soil in Xinjiang, China. *Microorganisms*, 13.
2. Bektaş, K. I., Nalcaoğlu, A., Ceylan, E., Colak, D. N., Çağlar, P., Agirman, S., Sivri, N., ... et al. (2023). Isolation and characterization of detergent-compatible amylase-, protease-, lipase-, and cellulase-producing bacteria. *Brazilian Journal of Microbiology*, 1-13.
3. Xie, Y., Ji, X., Tian, Z., Wang, Y., Mo, X., Zhang, F., & Zhou, J. (2025). Extraction of high-purity lignin from the kraft pulping black liquor by enzyme purification process with alkaline-resistant xylanase and cellulase. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139574 .
4. El-Ghonemy, D., & Ali, T. (2021). Effective bioconversion of feather-waste Keratin by Thermo-Surfactant Stable Alkaline Keratinase produced from Aspergillus sp. DHE7 with promising biotechnological application in detergent formulations. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 35, 102052.
5. li, K., Dong, Y., Guo, N., Shen, Y., Tang, X., & Lou, Y. (2026). Heterologous expression, characterization, and application of a cold-adapted alkaline phosphatase from Pseudoalteromonas spiralis for eco-friendly low-temperature detergent formulations.. *International Journal of Biological Macromolecules*, 150817 .
6. Li, B., Liu, Y., Tong, W. K., Zhang, J. B., Tang, H., Wang, W., Gao, M., ... et al. (2024). Effects of cellulase treatment on properties of lignocellulose-based biochar. *Bioresource Technology*, 131452 .
7. Velu, R., Jesia, P. P., Maheshwaran, S., Jeyakumar, S., Elumalai, D., & Anandan, D. (2026). Microbial Alkaline Proteases as a Greener Aid to Eco-Sustainable Detergent: Actions to Addition. *EPJ Web of Conferences*.

8. Egan, J., Barta, M., Pointner, P., Herbinger, B., Rudolf-Scholik, J., Gruenfelder, A., Lilek, D., ... et al. (2025). Diving into commercial cellulase formulations for circular polyester/cotton separation through targeted depolymerization of cotton. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 13.
9. Yang, H., Ren, X., Zhao, Y., Xu, T., Xiao, J., & Chen, H. (2024). Enhancing Alkaline Protease Stability through Enzyme-Catalyzed Crosslinking and Its Application in Detergents. *Processes*.
10. Arabacı, N. (2025). Characterization of Novel Pullulanase Type I from Newly Isolated Bacillus cereus Strain NP9: Potential Additive for Laundry Detergent Formulations. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 197, 5470 - 5493.
11. Tennalli, G. B., Hungund, B., & Patil, C. (2025). Detergent-Stable Alkaline Protease from Marine Bacillus subtilis BGN4: Production, Characterization, and Anti-Biofilm Activity. *Industrial Biotechnology*, 21, 386 - 400.
12. Wasserbaur, R., Sakao, T., Söderman, M. L., Plepys, A., & Dalhammar, C. (2020). What if everyone becomes a sharer? A quantification of the environmental impact of access-based consumption for household laundry activities. *Resources Conservation and Recycling*, 158, 104780.
13. Bouassida, M., Fourati, N., Ghazala, I., Ellouze-Chaâbouni, S., & Ghribi, D. (2018). Potential application of Bacillus subtilis SPB1 biosurfactants in laundry detergent formulations: Compatibility study with detergent ingredients and washing performance. *Engineering in Life Sciences*, 18.
14. Arabacı, N., Karaytuğ, T., Dadi, Ş., & Ocsoy, I. (2025). Synthesis of Novel Alkaline Protease-Incorporated Hybrid Nanoflowers (atP@hNFs) and Their Applications in the Laundry Detergent Industry. *ACS Omega*, 10, 45366 - 45381.
15. Arabacı, N., & Karaytuğ, T. (2023). Alkaline Thermo- and Oxidant-Stable Protease from Bacillus pumilus Strain TNP93: Laundry Detergent Formulations. *Indian Journal of Microbiology*, 63, 575-587.
16. Boondaeng, A., Keabpimai, J., Trakunjae, C., Vaithanomsat, P., Srichola, P., & Niyomvong, N. (2024). Cellulase production under solid-state fermentation by Aspergillus sp. IN5: Parameter optimization and application. *Heliyon*, 10.
17. Documents. *Enzymetechnicalassociation*.


## 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。