

# Keratinase Enzyme For Animal Feed Preparation

## CAS 9014-01-1：動物飼料製備用角蛋白酶與羽毛蛋白升級應用

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

Keratinase Enzyme For Animal Feed Preparation CAS 9014-01-1 是用於動物飼料製備情境的角蛋白酶，主要應用在羽毛、毛髮、蹄角等高角蛋白副產物的酵素處理。它的核心價值不是直接作為一般營養素，而是協助將難溶、難消化的角蛋白結構轉化為較容易後續加工與配方利用的蛋白水解物。對飼料廠、原料處理商與配方開發單位而言，角蛋白酶最適合被定位為「角蛋白副產物升級工具」，而非保證動物生長表現的單一添加物。

### 產品定位：用於動物飼料製備的角蛋白處理酵素

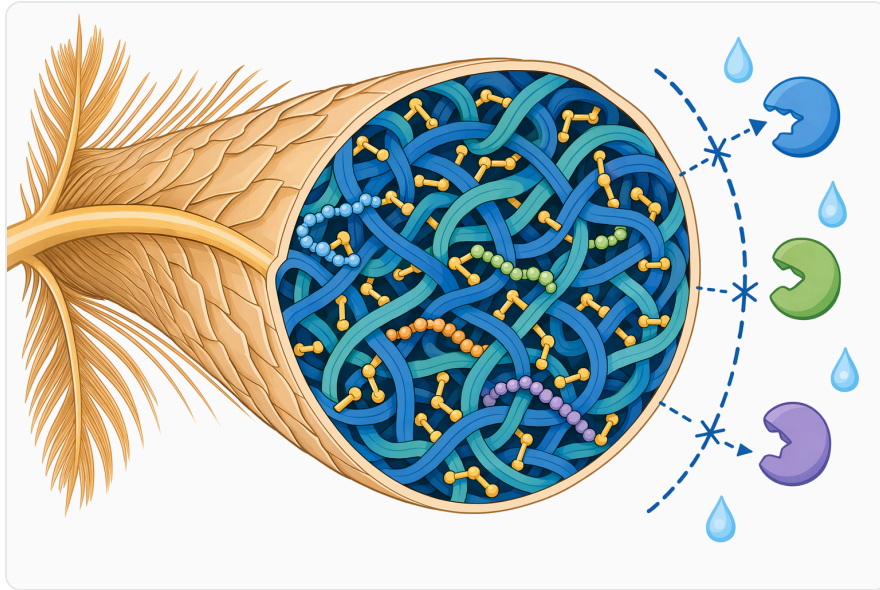
Keratinase Enzyme For Animal Feed Preparation CAS 9014-01-1 指向的是動物飼料製備用途的角蛋白酶產品；在 B2B 使用語境中，它通常被放在羽毛粉改質、禽羽水解、角蛋白副產物蛋白化、寵物食品或水產飼料原料前處理等情境中討論。Enzymes.bio 為酵素供應商，並非製造商或檢測實驗室；本產品以 1 kg 單位在線上直接銷售，CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，相關產品資訊以供應頁面所列內容為準。

角蛋白酶 (keratinase) 屬於能分解角蛋白的蛋白水解酵素群，研究文獻多將其與羽毛、毛髮、蹄角、角、皮屑等角蛋白廢棄物的生物降解連結在一起。角蛋白酶並非只「切蛋白」那麼簡單；它的應用價值來自於能處理一般蛋白酶較難有效打開的角蛋白結構，使不溶性蛋白逐步轉成較小的胜肽、可溶性蛋白片段與胺基酸相關成分 [1]。

在飼料製備中，這種定位很重要。角蛋白酶不是用來替代配方師對胺基酸平衡、能量、礦物質與衛生風險的判斷，也不是抗生素、黴菌毒素吸附劑或疾病治療產品；它比較接近一種加工輔助與原料改質工具。近年關於角蛋白生物降解的綜述指出，微生物角蛋白酶可作為角蛋白廢棄物管理與多種工業應用的工具，動物飼料原料升級正是其中受到關注的方向之一 [2]。

## 為什麼羽毛與角蛋白副產物需要專門處理？

羽毛、毛髮與蹄角看似是蛋白質來源，但它們不是一般蛋白原料。角蛋白的難利用性來自其高度有序且緊密的纖維結構，包含大量鏈間交聯、疏水相互作用與穩定的二級結構；這些特徵使其不易在水中分散，也不易被一般消化或簡單加工完全轉化。角蛋白酶研究綜述將此類酵素視為突破角蛋白天然抗降解性的關鍵工具，並強調其工業化應用取決於酵素穩定性、基質接觸與製程條件 [1]。



**Figure 1.** 羽毛角蛋白結構緊密且具交聯，會使肽鍵不易受到一般消化作用與溫和加工的作用，因此難以作為飼料蛋白使用。

以羽毛為例，禽類屠宰與加工會產生大量羽毛副產物，其中含有可觀的蛋白質，但天然羽毛的可消化性與加工可用性受到角蛋白結構限制。若只依賴高溫高壓水解，雖可改善物理性狀，卻可能造成部分胺基酸受損或營養品質不一致；酵素處理的邏輯則是透過較具選擇性的蛋白水解，使羽毛角蛋白逐步轉為更易溶、較易被後續利用的片段。關於家禽飼料產業的研究也指出，提升角蛋白酶表現與效率被視為增加羽毛副產物利用價值的重要策略 [3]。

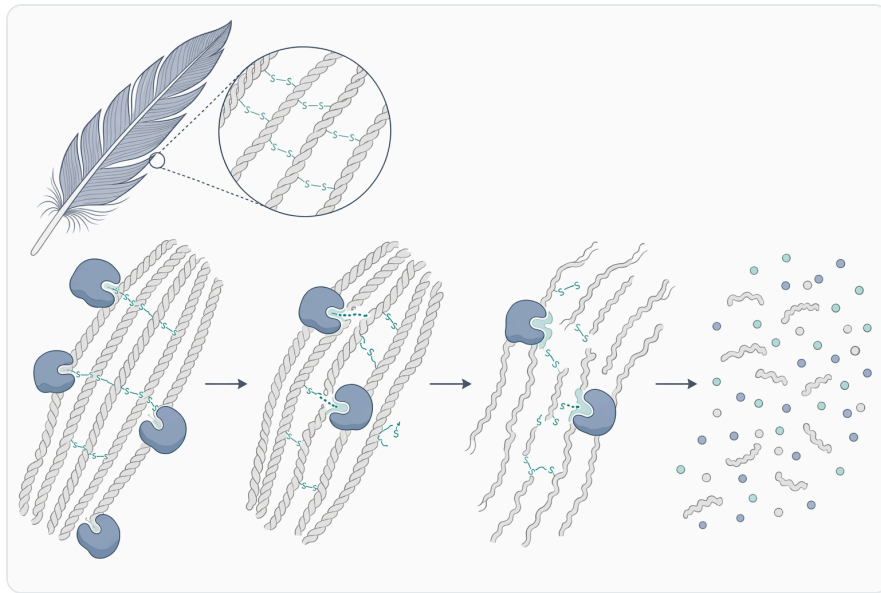
這也是角蛋白酶在動物飼料製備中受到關注的原因：它不是因為羽毛「缺乏營養」，而是因為羽毛中的營養被牢固的角蛋白網絡包住。當角蛋白結構被酵素切割、鬆動並部分水解後，原本難以進入有效配方設計的副產物，才有機會成為較穩定、可評估的蛋白水解原料。*Bacillus subtilis* 來源角蛋白酶的研究即將其與飼料產業應用連結，重點在於角蛋白降解能力與羽毛蛋白轉化潛力 [4]。

## 作用機制：角蛋白酶如何把「難溶蛋白」變成可用原料？

角蛋白酶的第一層作用，是水解角蛋白分子中的肽鍵。當酵素接觸到羽毛或其他角蛋白材料時，會在可及的蛋白鏈位置進行切割，使長鏈角蛋白逐步變短，產生多肽、寡肽與較小的含氮成分。不同來源的角蛋白酶可能具有不同的催化特性；文獻中常見的微生物來源包括 *Bacillus*、

*Stenotrophomonas*、真菌與酵母等，這也反映出角蛋白酶並非單一分子，而是一群具有角蛋白降解能力的酵素 [1]。

第二層作用，是改善角蛋白基質的物理與化學可及性。角蛋白的抗降解性不只來自肽鏈本身，還來自蛋白鏈堆疊、二硫鍵與緊密纖維結構；當部分蛋白鏈被切開後，材料表面會變得更鬆散，更多切割位點暴露出來，形成連續水解的機會。針對羽毛降解的定向演化研究顯示，改造後的角蛋白酶變體可被用來提高羽毛降解效率，說明酵素結構、基質辨識與穩定性會直接影響實際處理效果 [5]。



**Figure 2.** 角蛋白酶會逐步水解暴露出的角蛋白肽鏈，打開羽毛基質，並釋放可溶性肽類與胺基酸。

第三層作用，是使處理後產物更適合進入飼料製備流程。未處理羽毛常見問題包括分散性差、消化利用率不穩定、配方中可預測性不足；經角蛋白酶處理後，蛋白質可轉為較小片段，通常更容易與其他原料混合，也更容易被後續熱加工、乾燥或造粒流程整合。*Wickerhamomyces anomalus* 來源角蛋白酶的研究即指出其在家禽飼料產業具有潛在應用，重點在於羽毛等基質的蛋白水解與原料升級 [6]。

## 與傳統羽毛粉處理方式的比較

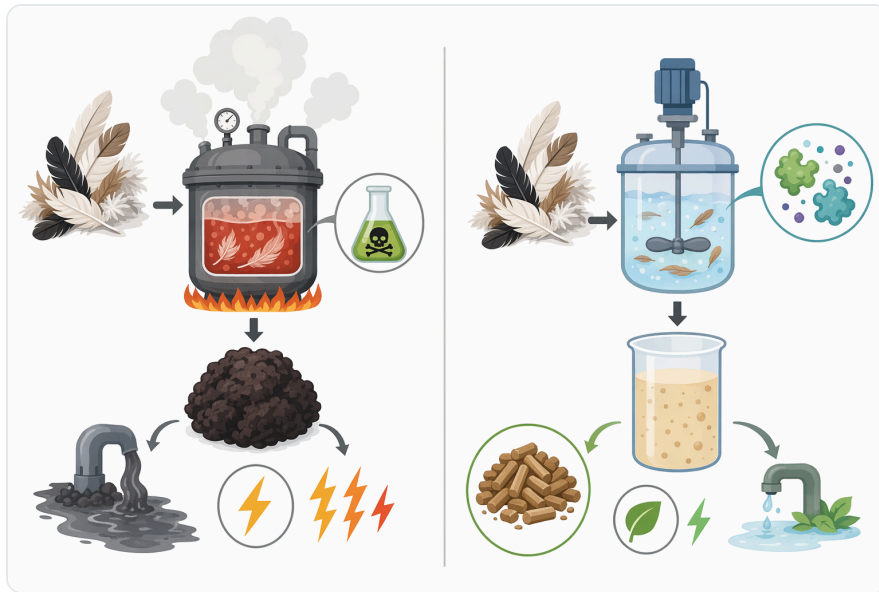
角蛋白酶處理並不一定取代所有熱加工或機械處理；更實際的理解，是它可成為羽毛副產物處理流程中的一個生物轉化環節。不同工藝的目的、限制與適用場景並不相同，飼料原料開發時通常需要把營養品質、成本、製程穩定性與法規使用範圍一起考量 [2]。

處理方式	主要作用	優點	主要限制	在飼料製備中的定位
未處理羽毛或角蛋白副產物	幾乎維持天然角蛋白結構	原料取得容易，前處理成本低	不溶、難消化，配方可預測性低	不適合作為高可利用蛋白來源，通常需進一步處理
傳統熱壓或水解羽毛粉	以熱、壓力與水分破壞結構	工業流程成熟，可大量處理	可能造成營養品質差異，部分胺基酸可能受加工影響	常見羽毛副產物處理方式，但品質需控管
角蛋白酶輔助處理	以酵素切割角蛋白肽鍵並鬆動結構	較具選擇性的蛋白水解，可提升可溶性與加工可用性	效果受溫度、pH、含水量、接觸時間與混合狀態影響	適合用於羽毛蛋白升級、蛋白水解物製備與配方評估
熱加工結合酵素處理	物理破壞搭配生物水解	可同時改善基質可及性與水解程度	製程整合較複雜，需要控制酵素失活與後段加工	適合較完整的原料改質流程與產品開發

這張比較表的重點不是宣稱酵素處理永遠優於熱加工，而是說明角蛋白酶的合理位置。若基質仍保持完整羽毛纖維狀態，酵素接觸面有限，水解速度與均勻性可能受限；若先透過適度粉碎、濕潤或其他前處理增加表面積，角蛋白酶更容易接觸角蛋白。Stenotrophomonas sp. Yang-5 相關研究以穩定金屬角蛋白酶進行羽毛生物降解，顯示角蛋白酶的穩定性與羽毛降解表現是此類應用的重要研究焦點 [7]。

## 科學證據：哪些主張較穩健？

最穩健的主張是：角蛋白酶能分解羽毛與其他角蛋白材料，並使不溶性角蛋白朝向可溶性蛋白片段與胺基酸相關產物轉化。這一點在角蛋白酶的分子機制、微生物來源與工業應用綜述中反覆出現，也是 Keratinase Enzyme For Animal Feed Preparation CAS 9014-01-1 在飼料製備語境中的核心技術基礎 [1]。



**Figure 3.** 角蛋白酶不同於一般蛋白酶，因為它能作用於羽毛、毛髮、角、蹄及相關基質中的不溶性結構角蛋白。

第二個相對穩健的主張是：角蛋白酶可支援羽毛副產物升級，但最終飼料價值取決於處理後原料品質。也就是說，酵素能改善原料轉化，不代表所有處理產物都會自動成為高性能飼料；配方中的胺基酸平衡、消化率、灰分、脂質氧化、微生物品質與適口性都仍然重要。以「將羽毛粉轉化為肉雞高性能飼料」為題的研究方向，反映出學界正在評估羽毛蛋白升級後對家禽營養表現的可行性，但這類結果仍需依試驗條件解讀 [8]。

第三個主張需要更保守：角蛋白酶可能改善動物飼料中的蛋白利用策略，但不應被描述為對所有物種、所有配方皆有固定效果。飼料系統是多變量環境，原料來源、處理程度、飼糧組成、動物年齡與腸道狀態都會影響結果。關於 *Bacillus* 來源角蛋白酶的研究多以優化、特性分析與應用潛力為主，這些資料有助於理解酵素的技術可行性，但不能直接替代每一個商業配方的現場結果 [9]。

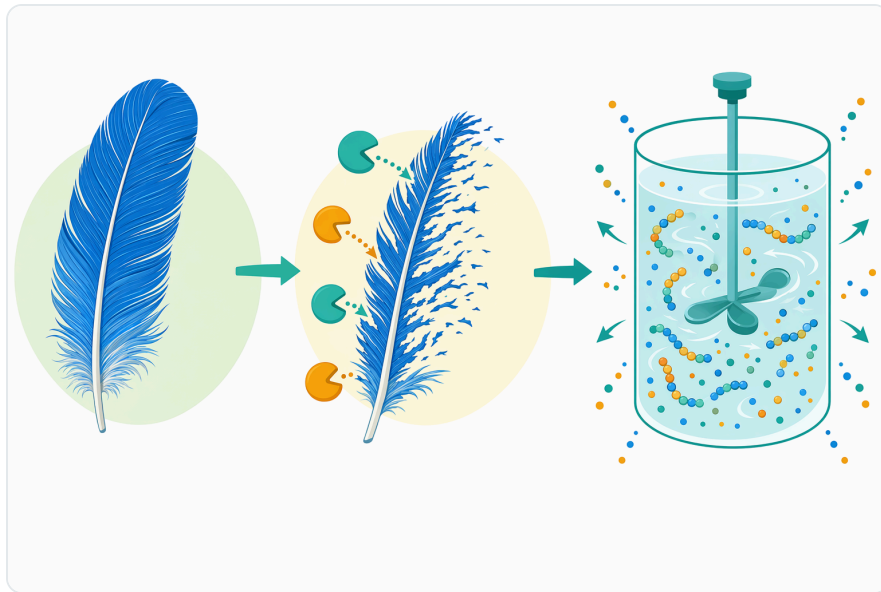
## 在飼料製備中的主要應用場景

### 羽毛蛋白水解與羽毛粉改質

最直接的應用，是將家禽加工副產物中的羽毛轉化為更可用的蛋白原料。羽毛本身富含角蛋白，但天然狀態下很難被動物充分利用；角蛋白酶處理可將其轉為不同分子量的蛋白水解物，提高後續乾燥、混合與配方評估的可行性。*Bacillus subtilis* 角蛋白酶研究將其與飼料產業應用連結，正是基於羽毛角蛋白可經酵素水解而產生更具利用潛力的蛋白產物 [4]。

在實務上，羽毛蛋白水解可被視為「原料製備」而非單純「添加」。如果把角蛋白酶直接加入不具備足夠水分、接觸時間或合適環境的乾粉飼料中，未必能發揮充分作用；相反地，若在羽毛粉或羽毛副產物前處理階段，使酵素與基質充分接觸，就更符合角蛋白酶的作用邏輯。孢子展示角蛋白酶的表面

設計研究也將酸耐受與羽毛降解能力作為改善方向，凸顯製程環境會影響酵素在羽毛基質上的表現 [10]。



**Figure 4.** 在酵素水解過程中，完整的羽毛結構會減少，而水解液中的可溶性蛋白片段、肽類與胺基態氮則會增加。

## 寵物食品、水產飼料與特殊蛋白原料開發

角蛋白水解物不一定只與禽畜飼料有關，也可能被評估於寵物食品、水產飼料或其他高蛋白配方中。這類應用通常重視蛋白片段的可分散性、嗜口性、加工穩定性與營養一致性；角蛋白酶的作用，是讓原本難以直接利用的結構蛋白副產物變成可進一步評估的蛋白原料。角蛋白酶工業化綜述指出，此類酵素具備跨產業應用潛力，飼料與廢棄物再利用只是其中最具量化意義的方向之一 [1]。

需要注意的是，蛋白水解程度越高，不一定代表配方價值越高。過度水解可能改變風味、吸濕性、加工流動性或最終產品質地；水解不足則可能仍保留過多難消化結構。因此，角蛋白酶在特殊蛋白原料開發中的價值，通常來自於「可控制的轉化」，而不是單純追求最大分解。針對角蛋白酶表現增強與家禽飼料應用的研究，也反映出產業關心的是效率、穩定性與可放大的製備邏輯，而非單一實驗指標 [3]。

## 副產物高值化與永續飼料策略

從永續角度看，角蛋白酶可協助把低價、處置困難的羽毛或角蛋白副產物轉化為具有飼料評估價值的蛋白流。這與飼料產業近年重視的資源循環、降低浪費與多元蛋白來源方向一致。不過，環境效益並非只由「使用酵素」決定，仍需考量原料運輸、處理能耗、乾燥成本、替代蛋白種類與農場端營養效率。飼料配方環境影響的多目標研究也指出，豬與肉雞生產的環境結果取決於配方、原料與農場端表現的整體組合 [11]。

因此，角蛋白酶在永續飼料中的合理敘述應是「提供副產物轉化工具」，而不是單獨保證碳足跡下降或成本下降。若處理後的羽毛蛋白能穩定替代部分傳統蛋白來源，且不犧牲動物表現與產品品質，才有機會形成真正的經濟與環境價值。微生物角蛋白降解綜述也強調，角蛋白酶的環境應用價值建立在有效廢棄物管理與可行工業流程之上 [2]。



Figure 5. 經角蛋白酶處理的羽毛蛋白，最適用於改善羽毛粉品質、開發寵物食品水解物、探索水產飼料原料，以及提升禽類副產品價值。

## 影響角蛋白酶效果的製程因素

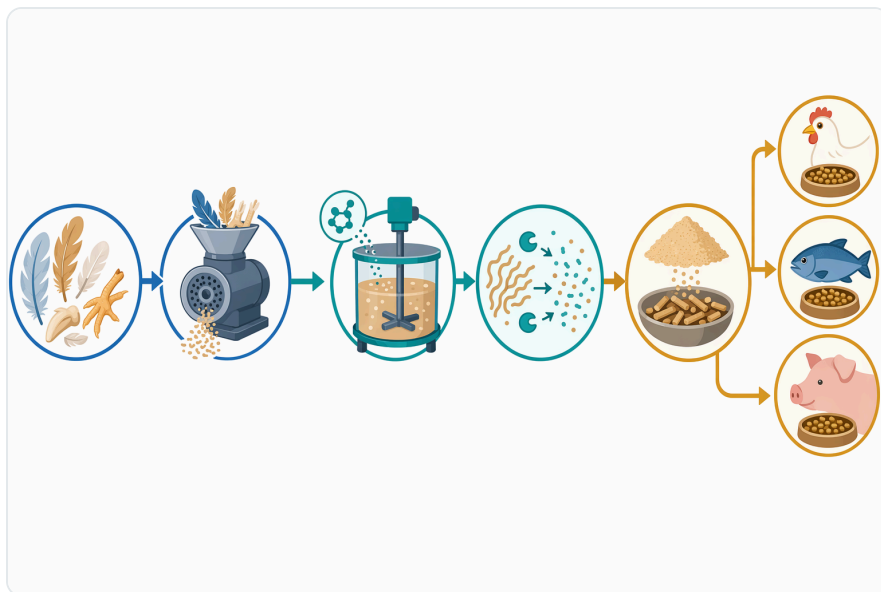
角蛋白酶作為蛋白質催化劑，其效果受製程條件影響很大。基質粒徑會影響表面積，含水量會影響酵素擴散與基質膨潤，pH 與溫度會影響酵素構形與催化效率，混合均勻度則決定酵素是否能接觸到足夠的角蛋白表面。這些因素不是形式上的操作細節，而是決定角蛋白水解是否均勻、是否可重現、是否適合後續加工的核心條件 [1]。

此外，角蛋白酶與熱加工的順序也會影響結果。若酵素處理前的基質過於完整，反應可能受限；若在酵素作用前或作用中暴露於不利條件，酵素可能失去足夠催化能力；若酵素處理後要進行乾燥、造粒或熟化，則需理解後段熱歷程會改變水解產物的物理性狀。羽毛降解效率研究與酵素工程研究之所以重視耐受性與穩定性，就是因為實際工藝條件往往比理想實驗條件更複雜 [5]。

在 B2B 使用上，更穩健的做法是把角蛋白酶納入既有原料處理流程來設計，而不是把它視為可獨立產生結果的末端添加物。它的表現會與羽毛來源、清潔程度、前處理方式、批次差異與後段乾燥方式共同形成最終原料品質。Stenotrophomonas 來源穩定角蛋白酶研究顯示，尋找能在較廣條件下有效降解羽毛的酵素，是提高產業可用性的關鍵方向之一 [7]。

## 對動物營養與配方價值的合理期待

角蛋白酶處理後的羽毛蛋白水解物，可被視為潛在蛋白原料，但仍需以營養資料與配方目標進行評估。對單胃動物而言，蛋白質品質不只看粗蛋白，也取決於胺基酸組成、可消化性、胜肽分布、抗營養或污染風險，以及與其他原料的互補性。家禽飼料產業對角蛋白酶的興趣，來自於羽毛副產物數量巨大且富含蛋白，但其實際價值必須透過可利用胺基酸與動物表現來判斷 [3]。



**Figure 6.** 角蛋白酶通常應用於濕式預處理或水解流程中；在此過程中，羽毛來源材料、水分、混合與接觸時間可讓酵素接觸角蛋白。

對肉雞、豬、水產或寵物食品配方而言，角蛋白水解物的可能價值並不相同。肉雞配方可能更關注胺基酸平衡與成長表現，水產飼料可能重視水中穩定性與蛋白來源多元化，寵物食品則可能同時考量適口性、標示與消費者接受度。羽毛粉高值化研究之所以以特定動物與特定配方為對象，是因為「角蛋白酶有效分解羽毛」與「最終飼料表現提升」中間仍有多個營養與加工環節 [8]。

因此，對 Keratinase Enzyme For Animal Feed Preparation CAS 9014-01-1 的合理期待，是協助角蛋白原料前處理、提升蛋白水解與副產物利用潛力；不宜把它描述為能在所有飼料中固定改善飼料轉換率、日增重或健康指標。這種保守定位反而更符合技術採購與配方開發的需求，因為它把酵素的確定功能與動物表現的條件性結果清楚區分 [4]。

## 安全、合規與文件定位

用於動物飼料製備的角蛋白酶，必須放在當地飼料法規、原料用途、製程衛生與最終產品標示規範下理解。不同國家或地區對飼料添加物、加工助劑、動物性副產物與蛋白水解物的定義可能不同；同一種酵素材料在研發、原料處理與商業飼料中的合規要求也可能不同。角蛋白酶研究文獻提供的是科學與應用背景，不能取代特定市場的法規判定 [2]。

從安全角度看，酵素本身的功能並不等於成品飼料安全。羽毛或其他角蛋白副產物仍需考量來源可追溯性、微生物控制、污染物、異物、乾燥與儲存條件；酵素水解可改善蛋白結構，卻不能替代衛生管理。角蛋白酶的工業化綜述同樣指出，產業應用需同時考慮酵素特性、製程與產品端要求，才能形成可實際推廣的解決方案 [1]。



Figure 7. 當符合安全、品質與配方要求時，角蛋白酶可將羽毛廢棄物轉化為更可利用的蛋白水解物，進而促進副產品增值利用。

Enzymes.bio 提供的是產品供應與線上購買服務，並非製造端或檢測實驗室角色；產品以 1 kg 單位供應，CoA 與 SDS 隨訂單提供。對研發、製程評估或小規模飼料製備而言，這種供應形式適合需要取得角蛋白酶材料、進行內部流程評估或建立原料處理條件的使用者；最終用途仍應依使用地規範與實際配方設計執行。

## 技術結論：最適合被視為角蛋白副產物轉化工具

Keratinase Enzyme For Animal Feed Preparation CAS 9014-01-1 的關鍵價值，在於協助處理羽毛、毛髮、蹄角等高角蛋白材料，使這類原本難溶、難消化、配方可用性受限的副產物，轉化為較容易進一步加工與評估的蛋白水解物。現有研究支持角蛋白酶具有羽毛與角蛋白降解能力，並顯示其在家禽飼料、副產物升級與工業廢棄物管理中具應用潛力 [1]。

對 B2B 使用者而言，最務實的理解是：角蛋白酶可以提升角蛋白原料處理的技術選項，但最終飼料價值仍取決於原料來源、製程條件、營養評估、動物種類與法規環境。它不是萬用飼料添加物，也不應被包裝成能單獨保證生產性能的產品；它更適合被納入羽毛蛋白升級、角蛋白副產物再利用與動物飼料製備流程中，作為一項有明確機制與應用邊界的酵素工具 [2]。

## 線上訂購 Keratinase Enzyme For Animal Feed Preparation Cas 9014-01-1

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 Keratinase Enzyme For Animal Feed Preparation Cas 9014-01-1 →](#)

## 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. Su, C., Gong, J., Qin, J., Li, H., Li, H., Xu, Z., & Jin-Shi (2020). The tale of a versatile enzyme: Molecular insights into keratinase for its industrial dissemination. *Biotechnology Advances*, 107655 .
2. Chaudhary, L., Siddiqui, M. H., Vimal, A., & Bhargava, P. (2021). Biological Degradation of Keratin by Microbial Keratinase for Effective Waste Management and Potent Industrial Applications. *Current protein and peptide science*.
3. Saeed, M., Yan, M., Ni, Z., Hussain, N., & Chen, H. (2024). Molecular strategies to enhance the keratinase gene expression and its potential implications in poultry feed industry. *Poultry Science*, 103.
4. Gupta, S., Nigam, A., & Singh, R. (2015). Purification and characterization of a Bacillus subtilis keratinase and its prospective application in feed industry.
5. Zhang, J., Su, C., Kong, X., Gong, J., Liu, Y., Li, H., Qin, J., ... et al. (2022). Directed evolution driving the generation of an efficient keratinase variant to facilitate the feather degradation. *Bioresources and Bioprocessing*, 9.
6. Aina, A. D., Ezeamagu, C., Akindede, S. T., & Aleshinloye, A. (2021). Purification of Wickerhamomyces anomalus Keratinase and Its Prospective Application in Poultry Feed Industries. *Fountain Journal of Natural and Applied Sciences*.
7. Chen, Z., Xu, X., Ju, X., Yan, L., Li, L., & Wei, D. (2024). Efficient biodegradation of feathers by a novel and stable metallo-keratinase production strain Stenotrophomonas sp. Yang-5 isolated from swan farming soil. *Biocatalysis and Biotransformation*, 42, 689 - 701.
8. Salehizadeh, M., Ebrahimi, M. T., Mousavi, S. N., Sepahi, A., & Orooji, R. (2025). Transforming Feather Meal Into a High-Performance Feed for Broilers. *Veterinary Medicine and Science*, 11.
9. Surti, A., & Taral, M. (2024). STUDY OF OPTIMIZATION, CHARACTERIZATION AND APPLICATIONS OF KERATINASE PRODUCED BY A BACILLUS STRAIN. *Journal of Applied Biological Sciences*.
10. Yan, M., Chen, Y., Zhou, H., Feng, Y., Xu, Y., Wang, Z., Saeed, M., ... et al. (2024). Three-step surface design of spore-displayed keratinase improved acid tolerance and feather degradation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 285, 138173 .

11. Méda, B., Garcia-Launay, F., Dusart, L., Ponchant, P., Espagnol, S., & Wilfart, A. (2021). Reducing environmental impacts of feed using multiobjective formulation: What benefits at the farm gate for pig and broiler production?. *Animal*, 15 1, 100024 .

## 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。