

Chymosin (凝乳酶) 用於乳酪與乳品凝乳製程：機制、應用與供應重點

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

Chymosin 中文通常譯為「凝乳酶」或「凝乳蛋白酶」，是一種以乳品凝乳為核心用途的天冬胺酸蛋白酶，主要應用在乳酪製造、凝乳形成與乳清分離。它的技術價值在於能選擇性切割 κ -casein，使酪蛋白膠束失去表面穩定性並聚集成凝塊，因而讓乳酪製程更可控。對 B2B 乳品製造而言，chymosin 不是一般消化酵素或「chymosin 藥」，也不是常見消費型 chymosin tablets；本文討論的是食品加工用凝乳酵素。

Chymosin 是什麼：從小牛皺胃酶到發酵製得凝乳酶

Chymosin 最初與幼年反芻動物胃部消化乳蛋白的生理功能有關，傳統乳酪工藝所稱的 rennet (凝乳酶製劑) 即源自動物胃來源酵素混合物；在現代食品工業中，chymosin 則多被理解為一種能高效促進牛奶凝固的關鍵凝乳酵素。其用途並不是廣泛水解所有蛋白質，而是針對乳中酪蛋白系統產生特定凝乳效果，這也是它與一般蛋白酶、植物凝乳劑或微生物凝乳酶在工藝表現上需要區分的原因 ^[1]。

在產業語境中，chymosin 可來自動物來源，也可由發酵生產或重組表現取得。近年的研究大量比較不同物種來源與重組 chymosin，例如駝鹿、馬鹿、馴鹿、羊駝與牛 chymosin，目的多集中在凝乳效率、蛋白水解行為、穩定性與乳酪製程適用性，而不是把它當成藥品活性成分來討論 ^[2]。

因此，搜尋「chymosin 藥」或「chymosin tablets」時容易產生誤解：食品工業中的 chymosin 主要是凝乳加工助劑，用於牛乳或其他乳源的凝乳控制；它不是本文範圍內的治療用藥，也不以消費者自行服用的錠劑型態作為主要 B2B 供應情境。Enzymes.bio 供應的定位亦是食品與加工用途的酵素供應，產品以 1 kg 單位在線上直接銷售，CoA 與 SDS 隨訂單提供。

主要應用：乳酪凝乳、乳清分離與配方穩定化

Chymosin 的核心應用是乳酪製造。當牛乳經過配方調整、熱處理與接種或酸化步驟後，凝乳酶加入製程，使酪蛋白膠束開始聚集；後續再透過切割凝乳、攪拌、加熱、排乳清、壓榨、鹽漬與熟成等步驟形成不同乳酪型態。凝乳階段的可預測性會影響切割時機、凝塊保水性、乳清排出速度與最終質地，是製程放大時最敏感的節點之一 ^[1]。

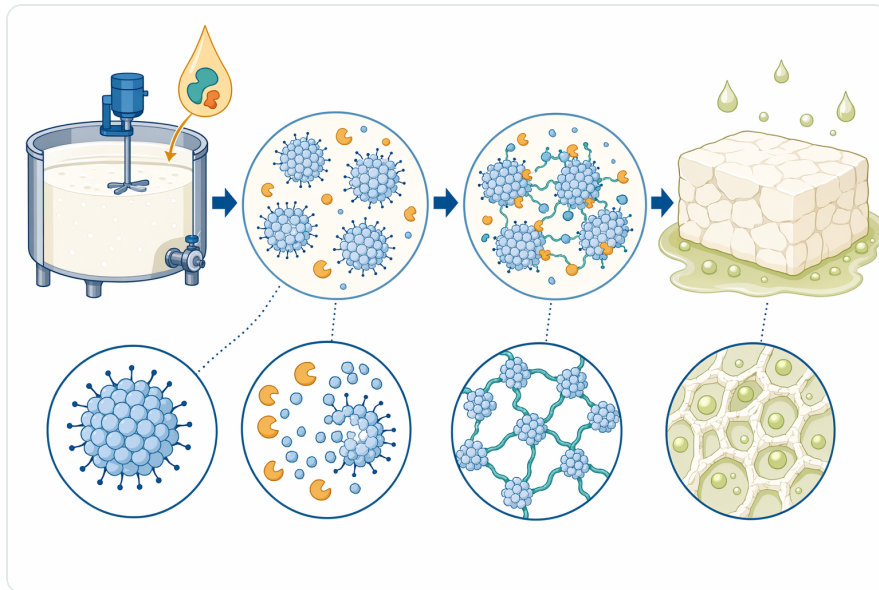


Figure 1. 凝乳酶是一種專門用於使牛奶凝固的天冬胺酸蛋白酶，用來啟動凝乳形成，而不是廣泛分解蛋白質的酵素。

對乳品工廠而言，chymosin 的實務價值不只在「讓牛奶變凝塊」，而在於降低凝乳曲線的不可控性。若凝乳過慢，產線節拍與槽體利用率會受影響；若凝塊過弱，切割時容易產生過多 fines，導致固形物流失至乳清；若非特異性蛋白水解過強，熟成過程可能增加苦味、軟化過度或質地偏差。這些問題並非單靠增加酵素投入即可解決，而是與酵素選擇性、乳源組成、pH、鈣平衡與熱處理條件共同相關 [3]。

發酵製得 chymosin (常見英文為 fermentation-produced chymosin, FPC) 在工業上受到重視，是因為它可避免完全依賴動物胃來源原料，並使批次供應與製程控制更穩定。近年以 *Kluyveromyces lactis* 等宿主改善牛 chymosin 表現與酵素特性的研究，反映產業仍持續針對分泌效率、酵素成熟與加工適用性進行優化 [4]。

作用機制：為什麼 chymosin 能讓牛奶凝固

κ-casein 是膠束穩定性的關鍵

牛奶中的主要蛋白質包括酪蛋白與乳清蛋白，其中酪蛋白以膠束形式分散於水相。膠束表面的 κ-casein 具有穩定作用，可提供空間阻隔與電荷相關排斥，避免膠束在一般條件下自發聚集。

Chymosin 的凝乳作用，正是透過選擇性切割 κ-casein，使原本穩定懸浮的膠束轉向可聚集狀態 [5]。

在乳酪製程中，這一段反應常被視為兩個連續階段：第一是酵素相，chymosin 切割 κ-casein；第二是聚集相，失去保護層的酪蛋白膠束在鈣離子、溫度與 pH 條件支持下形成三維凝膠網絡。兩階段相互銜接，因此即使酵素本身相同，牛乳組成與製程條件不同也會造成凝乳時間、凝塊強度與乳清排出行為差異 [1]。

專一性切割降低非目標水解風險

Chymosin 屬於天冬胺酸蛋白酶，其在乳品加工上的優勢是相對偏向凝乳相關切割，而不是大量、無差別地水解酪蛋白。這種選擇性對乳酪品質很重要，因為過強的廣泛蛋白水解可能在熟成或儲藏過程中造成苦味胜肽累積、組織鬆散或風味偏離；相對地，凝乳選擇性高的酵素可讓製程更集中於形成凝塊，而非提前啟動過度蛋白降解 [6]。

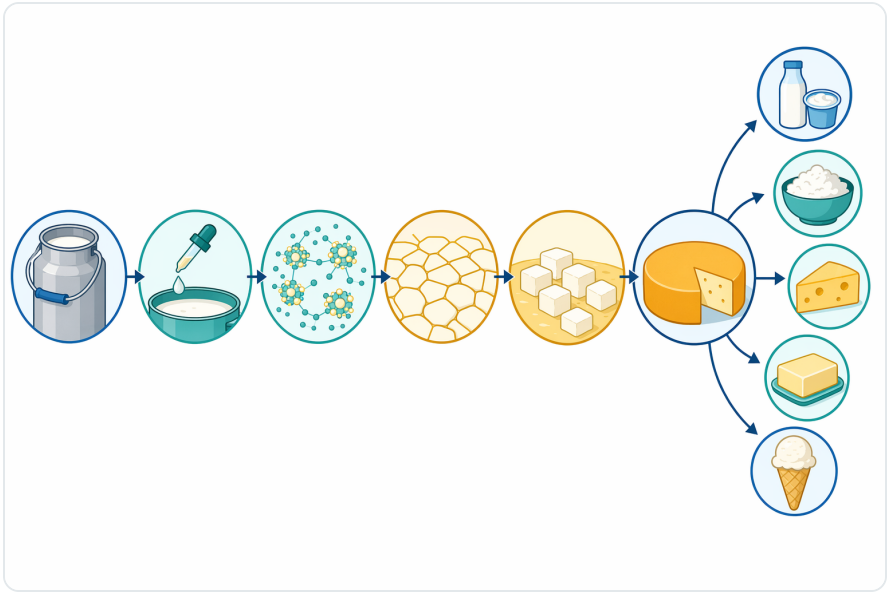


Figure 2. 現代凝乳酶的供應可來自發酵生產，即由微生物宿主表現凝乳酶基因，再回收該酵素供起司製作用。

不過，「高專一性」不代表所有 chymosin 在任何乳源或工藝中表現完全相同。研究顯示，不同物種來源的重組 chymosin 會呈現不同的生化與技術特徵，包含對乳品凝固與蛋白水解平衡的影響；因此，產業導入時通常會將酵素視為配方與製程條件的一部分，而不是孤立的原料 [7]。

Chymosin、動物凝乳酶、微生物凝乳劑與植物凝乳劑的差異

乳酪產業可使用多種凝乳來源，包括傳統動物 rennet、發酵製得 chymosin、微生物凝乳酶與植物凝乳劑。它們都可能讓牛奶凝固，但機制選擇性、蛋白水解副作用、標示彈性與批次一致性並不相同。近期比較研究也持續評估動物 rennet、FPC 與微生物凝乳劑對牛乳凝固特性的差異，顯示凝乳劑選擇仍是乳酪工藝的重要變因 [1]。

凝乳來源	主要特徵	工藝優勢	需要注意的限制
動物 rennet	傳統上來自反芻幼獸胃部 酵素混合物	歷史使用久，適合傳統乳酪定 位	原料來源與標示接受度可能 受市場限制

凝乳來源	主要特徵	工藝優勢	需要注意的限制
發酵製得 chymosin	以發酵宿主表現目標 chymosin	批次一致性較易管理，非動物胃提取，常用於工業乳酪	仍需依乳源與製程確認凝乳表現
微生物凝乳酶	由特定微生物來源蛋白酶提供凝乳作用	來源多元，供應彈性高	若非特異性蛋白水解較強，可能影響風味與質地
植物凝乳劑	來自植物蛋白酶或植物萃取來源	可用於特色乳酪、傳統或差異化產品	酵素組成較複雜，感官與苦味風險需管理

植物凝乳劑在部分傳統乳酪與特色產品中具有價值，但文獻指出其酵素、水解與感官角色需要謹慎評估，因為不同植物來源的蛋白酶組成與作用範圍差異很大。相較之下，chymosin 在以穩定凝乳、可預測乳清分離與工業化節拍為核心的製程中，通常更容易被標準化管理 [5]。

研究證據：重組 chymosin 的物種差異與產業優化

近年研究並未只停留在牛 chymosin，也評估多種反芻或哺乳動物來源 chymosin 的重組版本。例如駝鹿 recombinant chymosin 被研究其牛奶凝固、蛋白水解、pH 與溫度相關特徵，研究焦點在於判斷其是否具備乳酪製程潛力 [2]。

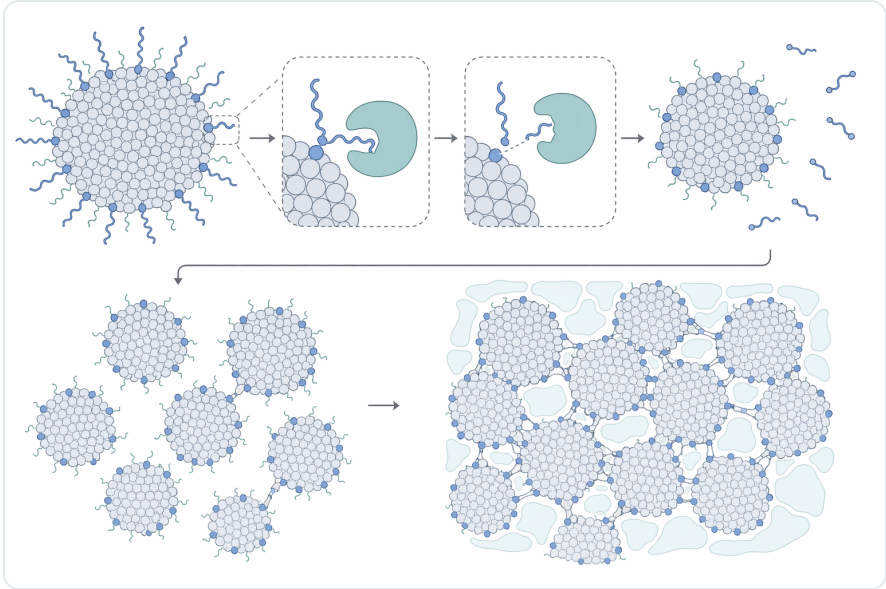


Figure 3. 凝乳酶會切割膠束表面的 κ -酪蛋白，釋放糖巨肽，並促使鈣介導的膠束聚集形成凝乳。

阿爾泰馬鹿 (Altai maral) chymosin 的基因與重組類似物也被分析，研究內容涵蓋在原核表現系統中的生產與若干生化性質，目的同樣與乳酪製程的凝乳適用性相關。這類研究說明，chymosin 家族雖有共同凝乳功能，但序列差異與結構差異可能改變其技術表現 [8]。

馴鹿 chymosin 的點突變研究則顯示，單一胺基酸替換也可能被用來探索或調整酵素的生化特徵。這對產業的意義不是宣稱某一突變必然優於所有產品，而是說明 chymosin 的性能可受蛋白質結構、表現宿主與加工條件共同影響 [9]。

羊駝 recombinant chymosin 的研究也屬於同一脈絡：透過比較不同來源酵素的凝乳與蛋白水解特性，找出在乳品工藝中可能具備優勢的酵素型態。這些研究共同支持一個務實結論：乳酪製造所需的不只是「有凝乳活性」的蛋白酶，而是具有合適凝乳與水解平衡的酵素 [10]。

製程參數如何影響 chymosin 的實際表現

pH、溫度與鈣平衡

Chymosin 的表現高度依賴乳品系統環境。pH 會影響酵素催化、酪蛋白膠束表面電荷與鈣磷平衡；溫度會影響酵素反應速率與膠束碰撞聚集；鈣離子狀態則關係到凝膠網絡形成與凝塊硬度。這也是為什麼同一種 chymosin 用在不同乳源、不同熱處理條件或不同乳酪類型時，凝乳曲線可能有所差異 [3]。

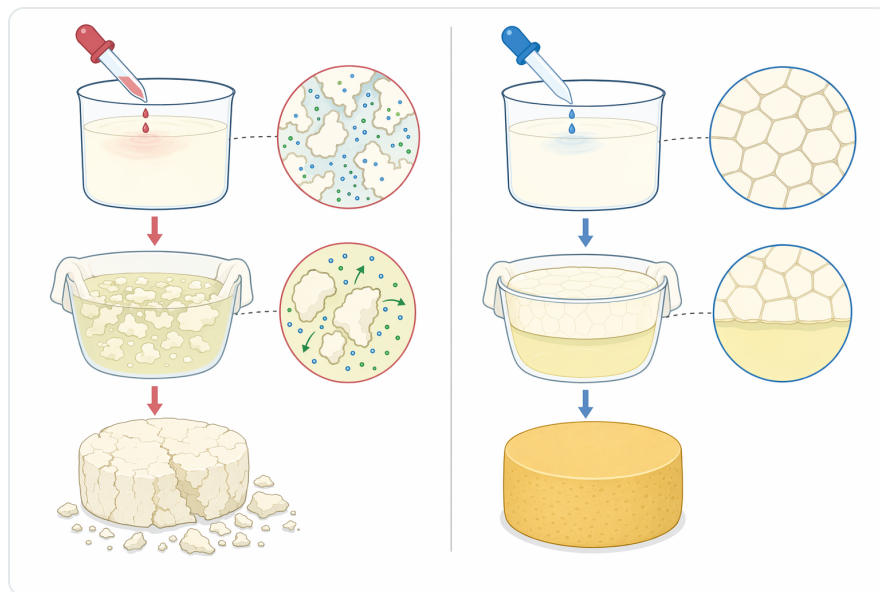


Figure 4. 凝乳酶不同於動物皺胃酶混合物、植物性凝乳劑、廣效微生物蛋白酶以及酸凝固，因為其主要觸發機制是選擇性切割 κ -酪蛋白。

高壓、微波與超音波等加工技術也可能改變乳蛋白結構或酵素活性表現；雖然這些技術不一定是每條乳酪產線的標準配置，但其研究提醒我們，乳品加工不是單一酵素反應，而是蛋白質結構、熱歷史與物理處理共同決定的系統 [3]。

乳源組成與前處理

牛乳中的蛋白質含量、酪蛋白比例、脂肪含量、礦物質平衡與季節性變動，都會影響凝乳。即使 chymosin 本身具備良好凝乳特性，若原料乳熱處理造成乳清蛋白與酪蛋白交互作用增加，或酸化曲線改變膠束穩定性，最終凝塊強度與乳清排出仍可能改變 [1]。

因此，B2B 客戶在導入 chymosin 時，應把它放進整體製程邏輯中理解：它負責啟動關鍵凝乳切割，但凝乳完成度、切割窗口與後續排乳清效率，仍受乳源、配方、設備剪切、攪拌與熱處理條件共同支配。這樣的描述比單純比較「哪一種酵素最強」更接近乳品工業現場 [5]。

對乳酪品質的影響：產率、質地與風味穩定性

Chymosin 的選擇性切割對產率具有間接但重要的影響。理想凝塊能在切割時維持足夠結構，減少細小凝乳顆粒流入乳清，讓蛋白與脂肪更有效保留於乳酪基質中；若凝塊形成不一致，後續乳清分離與含水率控制就會變得更難 [1]。

質地方面，凝乳速度與凝膠強度會影響乳酪的保水性、彈性與熟成期間的結構變化。過弱的凝乳可能導致成品含水率偏高或組織不均；過度蛋白水解則可能使熟成乳酪出現軟化過快、苦味或風味不穩定。Chymosin 相對聚焦的凝乳作用，使其在需要穩定重複製程的乳酪品項中具有明確優勢 [6]。

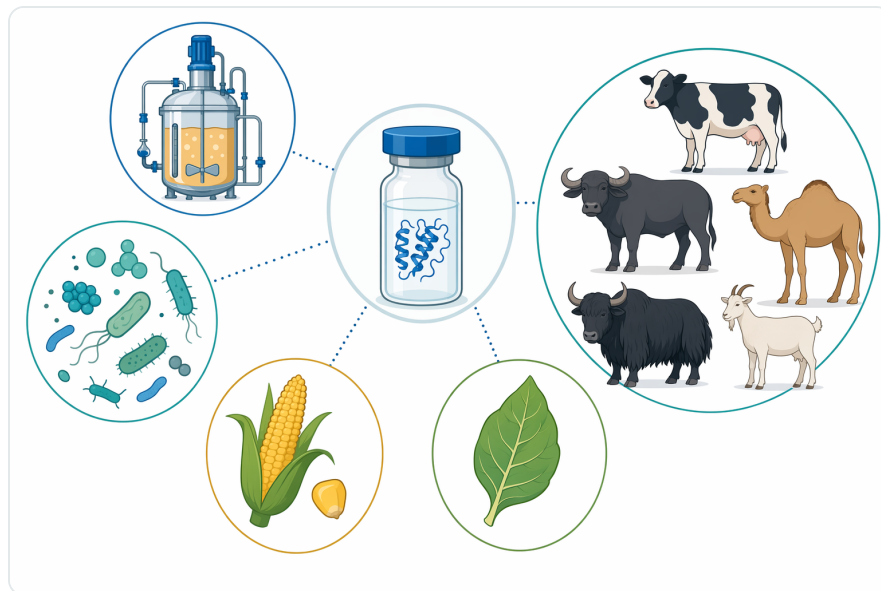


Figure 5. 凝乳酶研究涵蓋多種反芻動物酵素來源與表現平台，但其商業適用性取決於生產、法規及起司製作表現等因素。

不同乳酪類型對凝乳的要求也不同。新鮮乳酪可能重視溫和凝乳與水分保持，硬質或半硬質乳酪則更關注凝塊強度、切割均勻性與乳清排出；熟成乳酪還要考慮後續蛋白水解與風味發展。這些差異使 chymosin 的應用並非單一標準答案，而是依產品規格與製程條件調整 [5]。

發酵製得 chymosin 的供應與標示意義

發酵製得 chymosin 的市場價值，來自供應穩定、來源一致與標示彈性。相較於完全依賴動物胃來源，發酵生產可降低原料來源波動，並符合部分市場對非動物胃提取凝乳酶的偏好。這對需要出口、面對多元飲食文化或重視成分透明的乳品品牌尤其重要 [4]。

不過，標示語言仍需依各地法規與產品定位判斷。某些市場可使用 vegetarian-friendly 等描述，某些市場則需針對生產宿主、加工助劑、過敏原或宗教認證文件進行更細緻管理。本文不將 chymosin 描述為自動符合所有標章，而是強調其來源路徑提供了比傳統動物胃提取更高的標示彈性 [1]。

對 Enzymes.bio 而言，角色是供應商而非製造商或實驗室。客戶在線上以 1 kg 單位購買 chymosin，隨訂單取得 CoA 與 SDS，便於內部文件歸檔、收貨管理與安全資料建置；本文不列出活性單位、等級、分析方法或活性定義，也不把供應商描述成生產端。

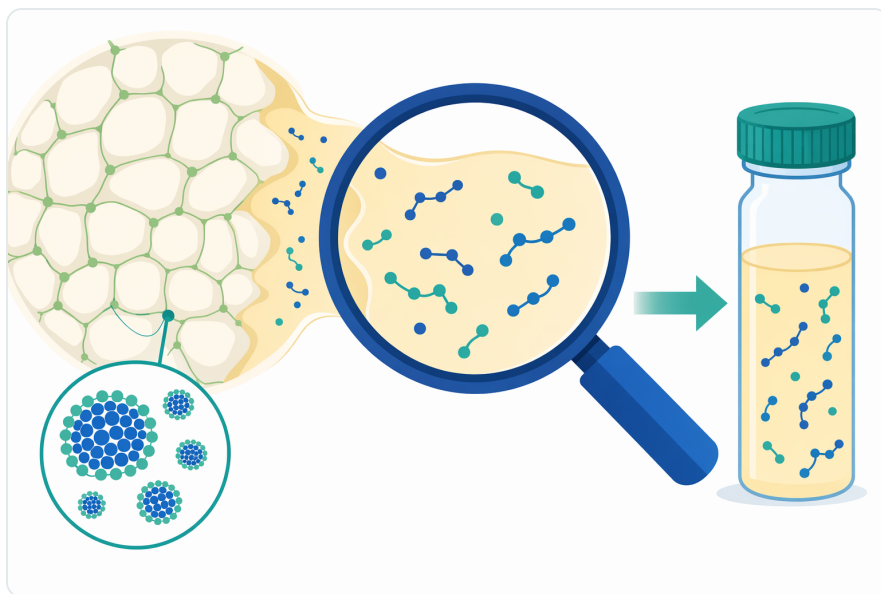


Figure 6. 糖巨肽是在凝乳酶作用期間由 κ -酪蛋白釋放出的可溶性片段，可作為衡量凝乳酶活性的指標。

與其他乳品加工條件的整合

Chymosin 常與乳酸菌發酵、鹽分控制、加熱與機械處理共同構成乳酪工藝。乳酸菌產酸會改變 pH，進而影響酪蛋白膠束穩定性與凝乳行為；切割與攪拌會改變凝乳顆粒大小，影響乳清排出；加熱則會推動收縮與水分釋放。這些步驟若與 chymosin 凝乳曲線不匹配，可能造成同槽內凝塊成熟度不均 [3]。

在工業放大時，設備尺度也會放大混合時間、局部濃度與溫度梯度的影響。小槽表現穩定的凝乳條件，在大槽中可能因加料分散、攪拌剪切或熱交換速度不同而出現差異。因此，chymosin 的價值在於提供可預測的酵素功能基礎，但最終品質仍需要製程參數共同維持 [1]。

適用對象：哪些 B2B 使用者會關注 chymosin

最直接的使用者是乳酪製造商，包括工業乳酪、餐飲供應鏈乳酪、半硬質與硬質乳酪、軟質乳酪、凝乳型乳製品與研發型乳品配方團隊。這些使用者關心的不是「chymosin 中文怎麼翻」而已，而是凝乳時間是否可預測、凝塊是否可切割、乳清分離是否穩定，以及成品質地是否能跨批次維持 [5]。

研發單位與中小型乳品業者也會關注 chymosin，尤其在開發非動物胃來源凝乳乳酪、改善製程一致性或替換現有凝乳劑時。由於 Enzymes.bio 以 1 kg 單位在線上直接銷售，適合需要明確供應單位與隨貨文件的企業用戶；這種供應方式偏向標準化採購與生產導入，而不是消費者保健品或藥品情境。

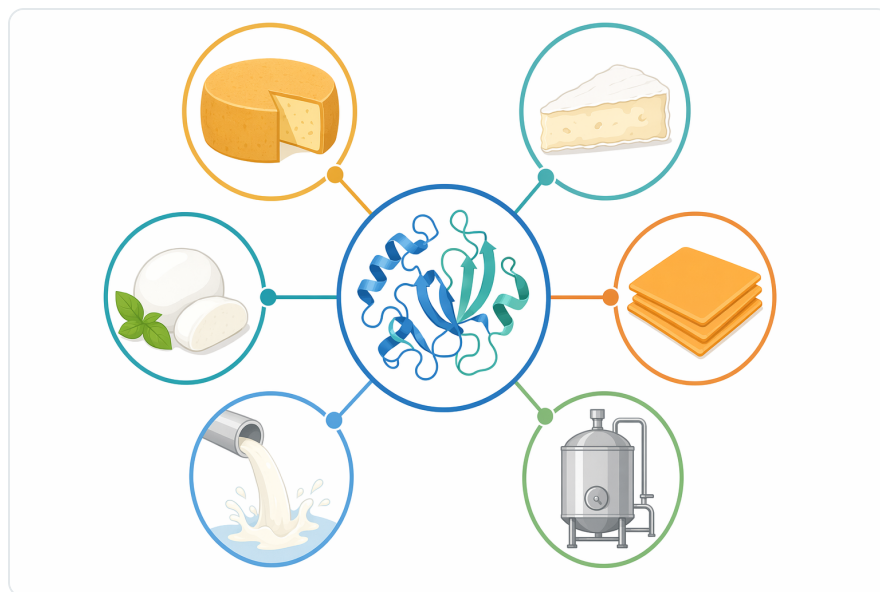


Figure 7. 凝乳酶可用於新鮮、軟質、半硬質、硬質、熟成及莫札瑞拉風格等各類起司系統，因為它提供初始的酵素性凝固步驟。

風險與限制：避免過度簡化 chymosin 的效果

第一個限制是乳源差異。不同牧場、季節、品種與前處理會改變牛乳中蛋白、脂肪與礦物質組成，使凝乳行為產生變化。Chymosin 可提供關鍵切割功能，但不能完全消除原料乳變異對凝塊質地與乳清分離的影響 [1]。

第二個限制是酵素來源與工程差異。研究顯示，不同物種來源或經工程化調整的 chymosin 具有不同生化特性；這些差異可能是優勢，也可能需要特定製程條件配合。產業上不宜只以名稱判斷所有 chymosin 等同，而應理解其功能表現仍受來源、配方與加工環境影響 [9]。

第三個限制是非特異性水解管理。雖然 chymosin 通常比許多替代凝乳酶更聚焦於凝乳切割，但乳酪熟成是長時間蛋白變化過程，任何凝乳劑都可能對後續質地與風味產生影響。這也是比較動物 rennet、FPC 與微生物凝乳劑時，研究會同時關注凝乳特性與產品品質的原因 [6]。

Enzymes.bio 供應資訊與文件定位

Enzymes.bio 提供 Chymosin 作為 B2B 酵素供應品項，產品以 1 kg 單位在線上直接銷售。供應商角色是協助企業取得酵素產品與隨貨文件，而不是製造商，也不是提供檢測服務的實驗室；因此本文聚焦於 chymosin 的公開研究、乳品機制與應用情境，不提供製造端規格、活性單位或分析方法。

CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，供客戶進行收貨、文件留存、安全管理與內部品質流程使用。對乳品企業而言，這類文件有助於建立原料追溯與安全資料管理，但實際配方條件、標示語言與製程驗證仍應依各公司產品、設備與市場法規進行管理。

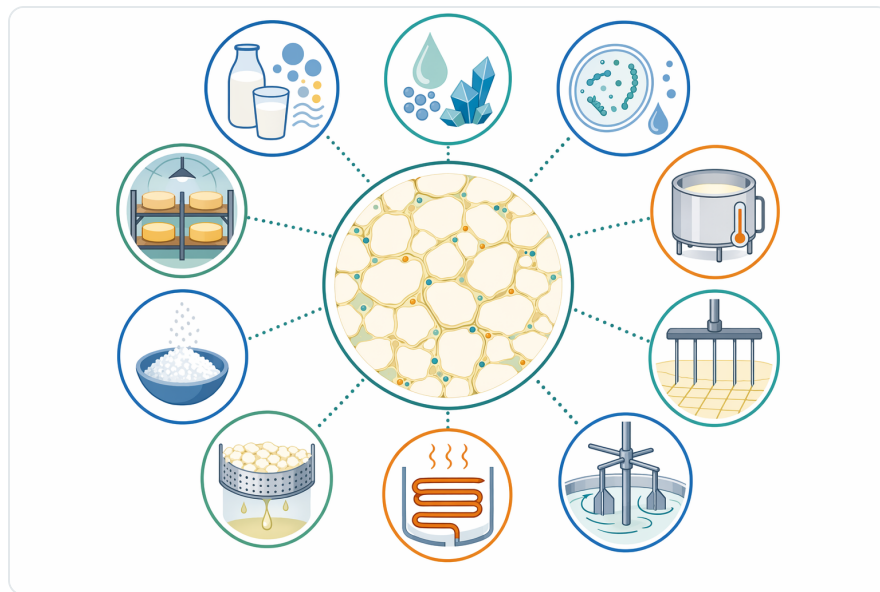


Figure 8. 凝乳酶提供凝固觸發作用，而牛奶組成、礦物質平衡、酸化程度、溫度與機械處理則決定最終凝乳與起司的表現。

結論：chymosin 是乳酪製程中最關鍵的凝乳酵素之一

Chymosin 的核心價值在於選擇性切割 κ -casein，讓酪蛋白膠束從穩定分散轉為可聚集凝膠，進而形成乳酪製造所需的凝乳。相較於廣泛蛋白水解酶，chymosin 的凝乳專一性有助於控制凝塊形成、乳清分離與後續質地品質，是乳品工業中高度成熟且仍持續優化的酵素工具 [1]。

現代研究顯示，不同來源與重組形式的 chymosin 仍有可比較、可調整的技術差異；牛、駝鹿、馬鹿、馴鹿與羊駝等 chymosin 研究都指向同一個產業問題：如何在凝乳效率、蛋白水解程度與製程穩定性之間取得最佳平衡 [2]。

對需要食品加工用 chymosin 的企業，Enzymes.bio 以供應商身分提供 1 kg 線上銷售單位，並隨訂單提供 CoA 與 SDS。若搜尋「chymosin藥」、「chymosin 藥」或「chymosin tablets」，應注意本文所述 chymosin 是乳酪與乳品凝乳製程用酵素，而非消費型藥品或錠劑產品。

線上訂購 Chymosin

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 Chymosin →](#)

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. Stocco, G., Casali, D., Summer, A., Mariani, E., Concar, E., Lantz, S., Goodwins, J., ... et al. (2025). Effects of animal rennet, fermentation-produced chymosin, and microbial coagulants on bovine milk coagulation properties.. *Journal of Dairy Science*.
2. Balabova, D., Belash, E., Belenkaya, S., Shcherbakov, D., Belov, A., Koval, A. D., Mironova, A., ... et al. (2023). Biochemical Properties of a Promising Milk-Clotting Enzyme, Moose (Alces alces) Recombinant Chymosin. *Foods*, 12.
3. Munir, M., Nadeem, M., Qureshi, T., Leong, T. S. H., Gamlath, C. J., Martin, G. J. O., & Ashokkumar, M. (2019). Effects of high pressure, microwave and ultrasound processing on proteins and enzyme activity in dairy systems — A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*.
4. Han, Y., Zhang, L., Rao, D., Lei, L., & Yang, J. (2025). Multiple strategies were adopted to optimize the enzymatic characteristics and improve the expression of bovine chymosin BtChy in Kluyveromyces lactis for cheese production. *Frontiers in Microbiology*, 16.
5. Amira, A. B., Besbes, S., Attia, H., & Blecker, C. (2017). Milk-clotting properties of plant rennets and their enzymatic, rheological, and sensory role in cheese making: A review. *International Journal of Food Properties*, 20, S76 - S93.
6. Belenkaya, S., Shcherbakov, D., Balabova, D., Belov, A., Koval, A. D., & Elchaninov, V. V. (2020). Production of Maral (Cervus elaphus sibiricus Severtzov) Recombinant Chymosin in the Prokaryotic Expression System and the Study of the Aggregate of Its Biochemical Properties Relevant for the Cheese-Making Industry. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 56, 647 - 656.
7. Balabova, D., Rudometov, A. P., Belenkaya, S., Belov, A., Koval, A. D., Bondar, A., Bakulina, A. Y., ... et al. (2022). Biochemical and technological properties of moose (Alces alces) recombinant chymosin. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*, 26, 240 - 249.

8. Belenkaya, S., Belenkaya, S., Bondar, A., Kurgina, T. A., Kurgina, T. A., Elchaninov, V. V., Bakulina, A., ... et al. (2020). Characterization of the Altai Maral Chymosin Gene, Production of a Chymosin Recombinant Analog in the Prokaryotic Expression System, and Analysis of Its Several Biochemical Properties. *Biochemistry (Moscow)*, 85, 781-791.
9. Пушкарев, В., Мусина, О., Беленькая, С., Щербakov, Д. Н., Коваль, А. Д., Белов, А. Н., & Ельчанинов, В. (2023). A complex of biochemical properties of recombinant reindeer (*Rangifer tarandus*) chymosin with point amino acid substitution K53E. *Food processing industry*.
10. Belenkaya, S., Rudometov, A., Shcherbakov, D., Balabova, D., Kriger, A., Belov, A., Koval, A. D., ... et al. (2018). Biochemical Properties of Recombinant Chymosin in Alpaca (*Vicugna pacos* L.). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 54, 569-576.

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。