

Chymosin 乳凝素酵素：用於起司凝乳與凝固乳製品的高純度 Rennet 技術說明

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

Chymosin (乳凝素、凝乳酶) 是起司製程中最核心的乳凝酵素，主要透過選擇性切割 κ -casein，使酪蛋白微膠體失去表面穩定性並聚集成凝塊。相較於含多種蛋白酶的傳統或替代凝乳劑，高純度 chymosin 的價值在於乳凝反應更聚焦、較容易控制凝乳時間、凝塊結構與後續蛋白水解風險。Enzymes.bio 供應的 Promote Cheese Yogurt Coagulation High Purity Rennet Chymosin Enzyme Chymosin 以 1 kg 單位線上銷售，CoA 與 SDS 會隨訂單提供。

產品定位：Chymosin 的主要應用與適用製程

Promote Cheese Yogurt Coagulation High Purity Rennet Chymosin Enzyme Chymosin 是一款以 chymosin 為核心的乳凝酶產品，主要應用於起司製造中的凝乳階段，也可用於特定凝固乳製品或發酵乳產品的質地調整。Enzymes.bio 作為酵素供應商提供此產品，產品以 1 kg 包裝在線上直接銷售；其定位不是實驗室測試服務，也不是製造端製程宣稱，而是提供乳品加工者可導入配方評估的乳凝酵素材料。

在乳品工業中，「rennet」通常指能促進牛乳、羊乳或山羊乳形成凝塊的凝乳劑；其中 chymosin 是傳統小牛皺胃凝乳酶中的關鍵活性成分，也是現代工業起司製程中最具代表性的凝乳蛋白酶之一。研究與應用文獻均顯示，chymosin 類酵素的核心功能在於乳凝，而不是廣泛分解所有乳蛋白；這也是它與某些植物性、真菌性或非專一蛋白酶凝乳劑的重要差異 ^[1]。

此產品名稱中包含「Cheese Yogurt Coagulation」，但實務上需要區分：典型優格的凝膠主要由乳酸菌發酵使 pH 下降而形成酸凝膠；chymosin 更常見於起司與 rennet gel 的形成。若用於優格型或發酵凝固乳製品，通常是為了輔助質地、乳清保持或切割性，而非取代發酵酸化本身。這種定位有助於避免把 chymosin 誤用為所有乳製品凝固問題的單一解方。

Chymosin 是什麼：一種高度專一的天冬氨酸蛋白酶

Chymosin 又稱 rennin，是一種天冬氨酸蛋白酶，天然存在於幼年反芻動物胃部，生理功能是使乳汁中的酪蛋白形成凝塊，以延長乳蛋白在消化道中的停留時間。在食品加工中，這項生物機制被轉化為起司製造的關鍵步驟：酵素先作用於 κ -casein，再由鈣離子與膠體相互作用推動酪蛋白微膠體聚集 [2]。

κ -casein 位於 casein micelle 表層，具有維持膠體穩定的作用。Chymosin 對 κ -casein 的關鍵切割位置通常描述為 Phe105–Met106 鍵；切割後，親水性的 glycomacropeptide 片段脫離微膠體表面，原本阻止微膠體靠近的空間與電性屏障下降，凝聚反應因此開始。這個機制是乳凝理論與起司製程控制的基礎，也解釋了為何 chymosin 的專一性會直接影響凝乳品質 [3]。

值得注意的是，「凝乳能力」與「一般蛋白水解能力」並不是同一件事。理想的起司凝乳酵素需要在製程早期快速、明確地破壞 κ -casein 的穩定功能，但不應在同一階段大量分解 α -casein 或 β -casein。過度的非專一性蛋白水解可能造成凝塊變弱、乳清中蛋白損失增加、熟成期苦味肽上升，或使產品風味更難預測 [4]。

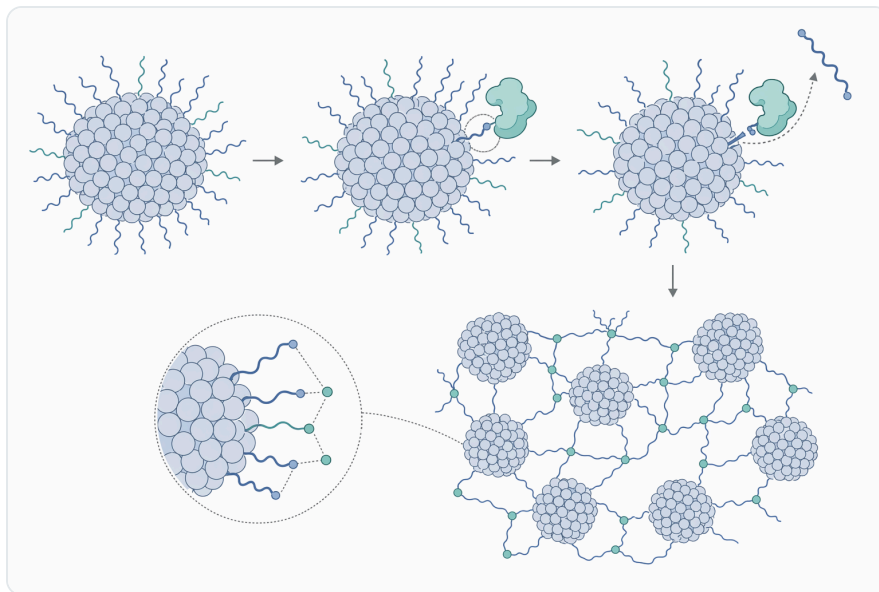


Figure 1. 凝乳酶會切割酪蛋白微膠體表面的 κ -酪蛋白，釋放糖巨肽，並使微膠體聚集形成凝乳。

乳凝機制：從 κ -casein 切割到凝塊形成

第一階段：酵素辨識並切割 κ -casein

牛乳中的 casein micelle 是由 α s-casein、 β -casein、 κ -casein、膠體磷酸鈣與其他組分形成的複合膠體。 κ -casein 位於微膠體外層，能讓微膠體在乳液中保持懸浮穩定；chymosin 的第一個關鍵任務，是切割這層穩定結構。以 peptide substrate 或 casein model system 觀察 chymosin 作用的研究，均支持其對 κ -casein 相關序列的特異性水解是凝乳反應的起點 [2]。

當 κ -casein 被切割後，親水片段進入乳清相，微膠體表面的保護層減少。此時若乳液的 pH、溫度、鈣平衡與蛋白濃度處於適合狀態，微膠體之間會更容易接近並形成網絡。這也是為什麼同一種 chymosin 在不同乳源、不同熱處理或不同酸化程度下，可能表現出不同凝乳時間與凝塊強度。

第二階段：鈣離子與膠體聚集推動凝膠網絡

chymosin 完成 κ -casein 的初始切割後，凝乳不只是「蛋白被切開」而已，還包括後續的物理化學聚集。鈣離子能降低帶電酪蛋白之間的排斥，並促進微膠體形成連續網絡；凝塊硬度、切割時機與乳清排出率，均與這個聚集階段有關。不同乳種中的礦物質平衡與 casein 組成差異，也會改變 rennet coagulation 的動力學 [5]。

這個階段對起司品質很敏感。凝塊過弱會增加切割與攪拌時的細粉流失，導致乳清中蛋白與脂肪損失；凝塊過硬或凝固過快，則可能使水分分布與組織結構不均。高純度 chymosin 的優勢，是讓「酵素切割」這一段更明確，降低其他蛋白酶干擾，使製程工程師能把控制重點放在乳源、pH、鈣平衡、溫度與機械處理上。

第三階段：殘留酵素與熟成期蛋白水解

起司凝乳後，部分 chymosin 可能隨凝塊保留，並在熟成期間繼續參與蛋白水解。這種後續作用並非完全負面，因為適度蛋白水解有助於質地軟化與風味形成；但若凝乳劑含有過多非目標蛋白酶，熟成期水解可能變得難以控制。關於乳轉化為起司過程中的酵素性蛋白水解，文獻已指出凝乳酵素與其他乳內源或微生物酵素共同影響最終質地與風味 [1]。

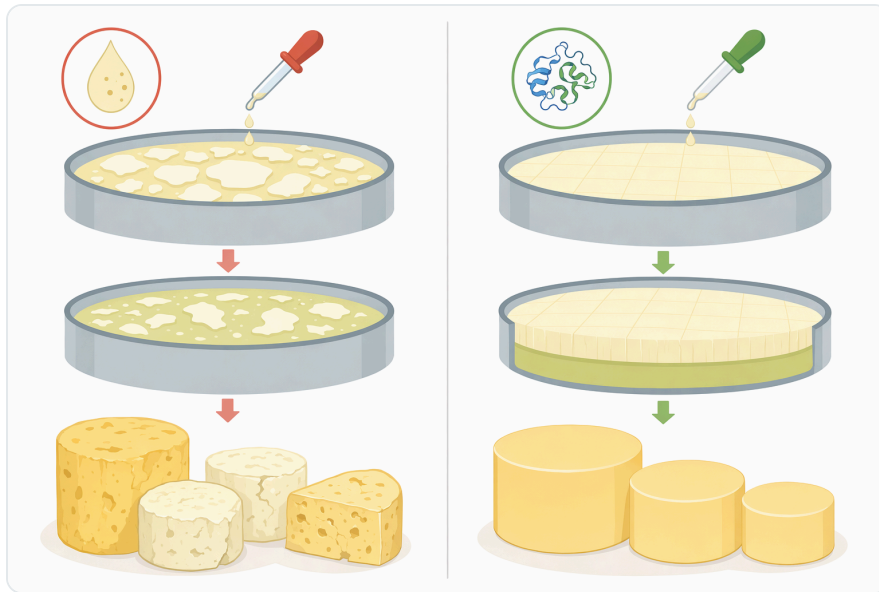


Figure 2. 凝乳酶因兼具強效的乳凝固活性與相對有限的非特異性蛋白質水解作用，被視為標準凝乳劑。

因此，選擇高純度 chymosin 的技術邏輯，是把初期凝乳與後期熟成風味盡量拆開管理：先用專一性較高的乳凝酵素取得穩定凝塊，再依乳酪類型、菌種、鹽分、水分與熟成條件調整風味發展。對需要標準化批次的 B2B 乳品加工而言，這比使用成分較複雜、蛋白酶譜較不明確的凝乳材料更容易建立可重複的製程窗口。

與其他凝乳劑的比較

不同 rennet 或 coagulant 來源都能使乳形成凝塊，但它們的蛋白水解選擇性、風味風險、標示彈性與製程一致性不同。近年也有研究探索水果與蔬菜來源凝乳劑，目標是開發替代 rennet；然而植物來源蛋白酶往往需要特別關注其廣泛蛋白水解與苦味風險，並不必然等同於 chymosin 的凝乳行為 [6]。

凝乳劑類型	主要特徵	可能優勢	主要限制與風險	較適合的情境
高純度 chymosin	以 κ -casein 切割為核心，凝乳作用明確	凝乳時間與凝塊品質較易標準化；降低非專一性蛋白水解干擾	仍受乳源、pH、鈣平衡與溫度影響	工業化起司、標準化配方、需要穩定凝塊的製程
傳統動物 rennet	可能含 chymosin 與其他胃蛋白酶組分	傳統風味與歷史應用成熟	批次組成與來源限制可能較高；非 chymosin 蛋白酶比例會影響熟成	傳統乳酪或特定風味訴求
微生物凝乳酶	由微生物來源蛋白酶提供凝乳作用	供應來源不依賴動物；可符合部分標示需求	不同菌株酵素特性差異大，可能有較高非專一性水解	成本、標示或供應鏈需替代動物來源時

凝乳劑類型	主要特徵	可能優勢	主要限制與風險	較適合的情境
植物性凝乳劑	來自植物蛋白酶或萃取物	可支援特色產品與植物來源敘事	易受原料變異影響；苦味與過度蛋白水解需控制	地方型乳酪、特色短熟或新產品開發
酸凝固	透過 pH 下降使 casein 接近等電點凝膠	不依賴 rennet；常見於優格與酸凝乳	凝膠機制不同，質地與切割性不同於 rennet curd	優格、酸凝乳、部分新鮮乳酪

高純度 chymosin 並不代表任何乳品都會自動得到理想凝塊；它代表的是酵素功能更聚焦，讓使用者能降低「額外蛋白酶」造成的變數。對於需要固定切割時間、凝塊強度、乳清排出與熟成曲線的起司製程，這種可控性通常比單純追求快速凝固更重要。

起司製造中的實務價值

凝乳時間與切割點更容易管理

起司製程中，從添加凝乳酵素到達到可切割凝塊，是影響產率與質地的關鍵區段。若凝乳時間波動過大，後續切割、升溫、攪拌與排乳清條件也會被迫調整。chymosin 的凝乳作用被廣泛研究，且重組 bovine chymosin 的生產與應用已在工業酵素領域中建立重要地位，反映其作為標準化凝乳酵素的實用價值 [7]。

穩定的凝塊形成有助於降低 curd fines，減少蛋白與脂肪進入乳清造成的損失。對硬質與半硬質起司而言，凝塊切割時機若過早，顆粒容易破碎；若過晚，乳清排出與水分控制會受到影響。高純度 chymosin 的角色，是讓凝乳反應更集中於 κ -casein 水解，使切割點判斷更可預期。

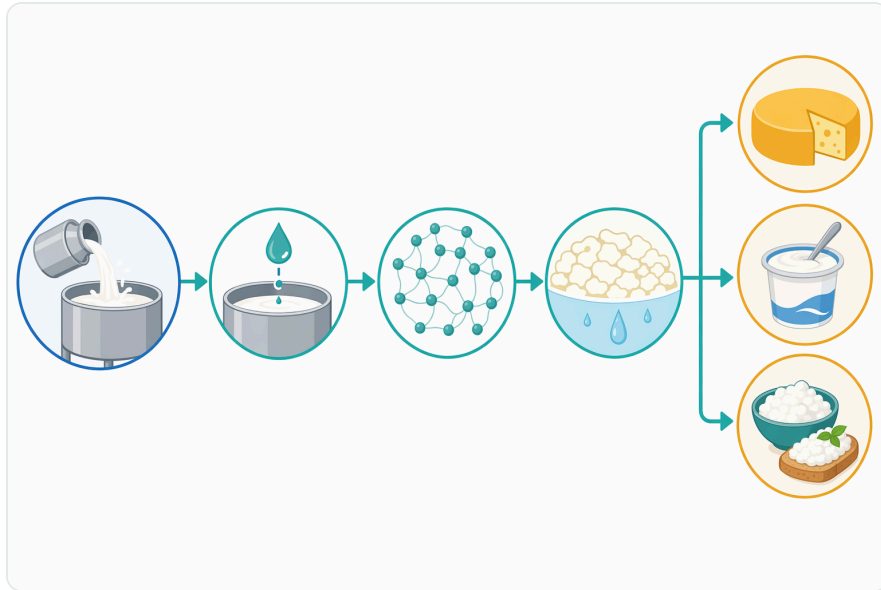


Figure 3. 凝乳酶凝固過程從乳品準備與添加凝乳酶開始，接著進行 κ -酪蛋白水解、微胞聚集、切割凝乳，以及乳清排出。

降低不必要的苦味與熟成偏差

苦味常與疏水性胜肽累積有關，尤其在蛋白水解過度或肽降解不平衡時更容易出現。並非所有苦味都來自凝乳酵素，但凝乳劑的蛋白酶組成會影響熟成期的水解起點。相對於廣泛作用的蛋白酶，chymosin 對 κ -casein 的初始選擇性使其更適合用於需要穩定風味曲線的起司基底 [4]。

這對 B2B 乳品加工者很重要，因為風味缺陷不只影響感官，也影響庫存週轉與品牌一致性。若同一產品線需要跨季節、跨乳源或跨工廠維持相近質地，選用較明確的凝乳酵素可以降低變因；其他風味發展則交由菌種、熟成條件、鹽分與水活性管理。

適用硬質、半硬質、軟質與新鮮乳酪

Chymosin 可應用於多種起司類型，但不同乳酪對凝塊的需求不同。硬質起司通常重視凝塊強度、切割穩定性與乳清排出；軟質起司更重視凝膠均勻性、保水與口感；新鮮乳酪則可能結合酸化與凝乳酵素以取得特定組織。酵素只是一個控制點，必須與配方中的蛋白、脂肪、鈣鹽、菌種與熱處理整合。

對於 feta、Gouda、Cheddar、Brie、Camembert 或類似產品的開發，chymosin 可作為建立 rennet coagulation profile 的核心酵素。若是高水分或短熟產品，需特別注意凝膠保水與乳清析出；若是長熟產品，則要評估殘留酵素與菌種蛋白酶在熟成期間的交互作用。

在優格與凝固乳製品中的角色

典型優格的主要凝膠機制是乳酸菌產酸，使 casein micelle 在酸化過程中逐漸失去穩定並形成酸凝膠。chymosin 若加入優格型產品，通常是「rennet-assisted」的質地設計，而不是取代發酵。這類應用需要謹慎控制添加時機、酸化曲線與熱處理乳的蛋白狀態，否則可能出現凝膠粗糙、乳清析出或口感不一致。

在某些凝固乳製品中，少量 rennet 類酵素可協助形成較具切割性的凝膠或改善結構，但其效果會受到乳清蛋白變性、均質條件與發酵速率影響。高壓處理等加工條件也可能改變 chymosin、bovine rennet 或 pepsin 的蛋白水解與乳凝表現，顯示酵素活性不能脫離整體製程條件解讀 [8]。

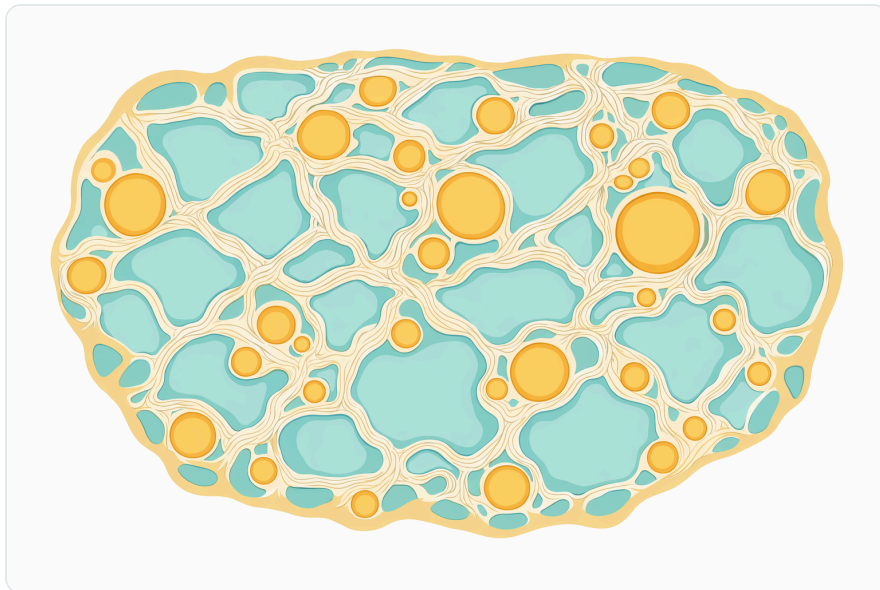


Figure 4. 由凝乳酶形成的凝乳是一種蛋白質 - 脂肪 - 水分網絡，會決定切割特性、乳清釋放、水分保留與起司質地。

因此，在優格相關應用中，較準確的說法是：chymosin 可作為凝固與質地調整工具之一，尤其適合需要 rennet-type gel 特性的產品；但若目標是傳統攪拌型或凝固型優格，核心控制仍是菌種、發酵終點、總固形物與熱處理條件。

影響 Chymosin 表現的關鍵製程變數

乳源與 casein 組成

牛乳、羊乳、山羊乳與其他乳源的 casein 組成、礦物質平衡、脂肪球大小與蛋白濃度不同，會改變 chymosin 的凝乳速度與凝塊性質。以 bovine 與 caprine casein model systems 的比較研究顯示，rennet 與 plasmin 對不同乳源 casein 的水解行為會呈現差異，說明乳種本身就是重要變因 [5]。

這也解釋了為何某些非典型乳源不容易用常規牛乳起司邏輯處理。例如馬科動物乳或駱駝乳的 casein 組成與礦物質平衡不同，凝乳行為可能與牛乳差異很大；研究中也曾探討以 camel chymosin 促進特定乳源凝乳與製酪的可行性 [9]。因此，chymosin 的高專一性是優勢，但不是忽略乳源差異的理由。

pH、鈣平衡與溫度

pH 會同時影響 chymosin 活性、casein micelle 電荷、膠體磷酸鈣平衡與凝膠網絡形成。當乳液逐漸酸化，微膠體穩定性下降，凝乳反應通常更容易推進；但過度偏離適合條件時，酵素表現與凝膠質地都可能受損。鈣離子則是連結微膠體、形成凝塊網絡的重要因素。

溫度同樣重要。較低溫可能使反應變慢，過高溫則可能造成酵素失活或乳蛋白結構改變。高壓、強烈熱處理或其他加工技術也可能改變凝乳酵素與乳蛋白之間的互動；因此 chymosin 的使用效果應放在完整乳品製程中評估，而不是只看酵素本身 [8]。

攪拌、添加均勻性與靜置

chymosin 加入乳槽後需要快速而均勻地分散，避免局部酵素濃度過高造成凝膠不均。一般而言，添加後會停止強烈攪拌，讓微膠體聚集形成連續凝塊；若在凝膠形成早期持續擾動，可能破壞網絡並增加細粉。這些操作不需要複雜化，但必須在生產 SOP 中保持一致。

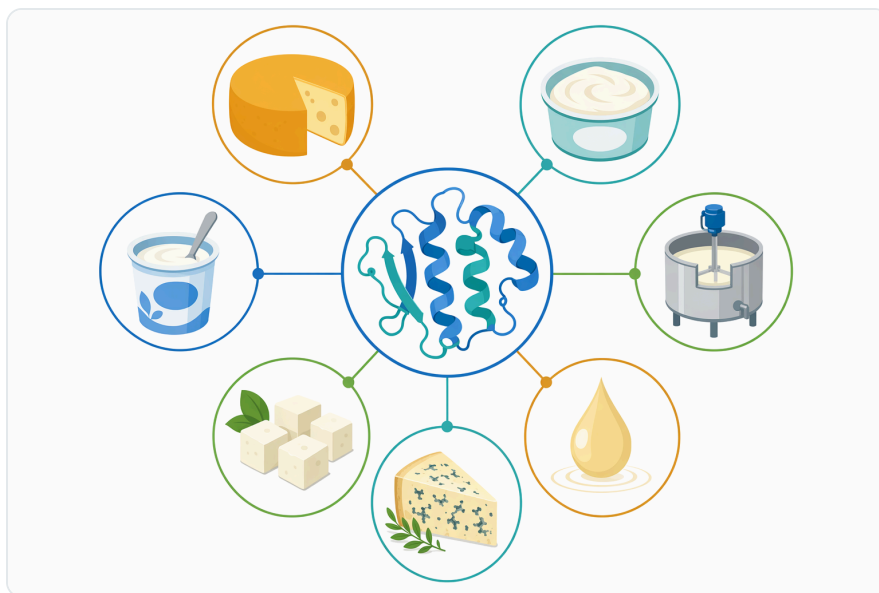


Figure 5. 當需要受控的 κ -酪蛋白凝固時，凝乳酶適用於硬質、半硬質、軟質、白色鹽水浸漬、鮮食及特定特色起司的製程。

添加方式通常會依工廠設備、乳槽體積、產品類型與既有配方調整。本文不提供特定添加量或活性單位建議，因為實際用量應依產品標示、配方目標與內部製程驗證決定；Enzymes.bio 隨訂單提供 CoA 與 SDS，供客戶進行品質文件留存與安全管理。

高純度 Chymosin 的品質意義

「高純度」在乳凝酵素語境中，最重要的技術意義是降低非目標蛋白酶或不必要副反應帶來的變數。若凝乳劑含有較多 pepsin-like 或其他廣泛蛋白酶，可能不只切割 κ -casein，也更明顯作用於 α -casein、 β -casein 或其他蛋白片段；這會影響凝塊保持力、乳清中固形物流失與熟成期風味 [4]。

高純度 chymosin 對標準化生產的價值，不是宣稱所有批次都不需要調整，而是讓加工者面對乳源季節變化、蛋白標準化、熱處理差異時，少一個來自酵素雜蛋白的干擾來源。對於大型與中型乳品廠，這有助於建立更可追蹤的偏差分析：若凝乳異常，可更清楚地回頭檢查乳源、pH、鈣、溫度、菌種或機械操作。

此外，重組 chymosin 的工業化使乳凝酵素供應更穩定，並降低對動物皺胃原料的依賴。文獻中已有以 *Pichia pastoris* 生產 recombinant bovine chymosin B 的研究，反映 chymosin 作為工業酵素的成熟度與可規模化背景 [7]。不過，具體來源、標示與認證仍需依產品文件與當地法規判定。

植物與替代 Rennet 的比較視角

植物來源凝乳劑近年受到關注，原因包括素食標示、地方特色、永續敘事與新風味開發。2024 年關於水果與蔬菜來源 rennet 的研究指出，這類材料可作為起司製作的新型凝乳來源，但同時需要評估其乳凝能力、蛋白水解程度與最終產品感官表現 [6]。

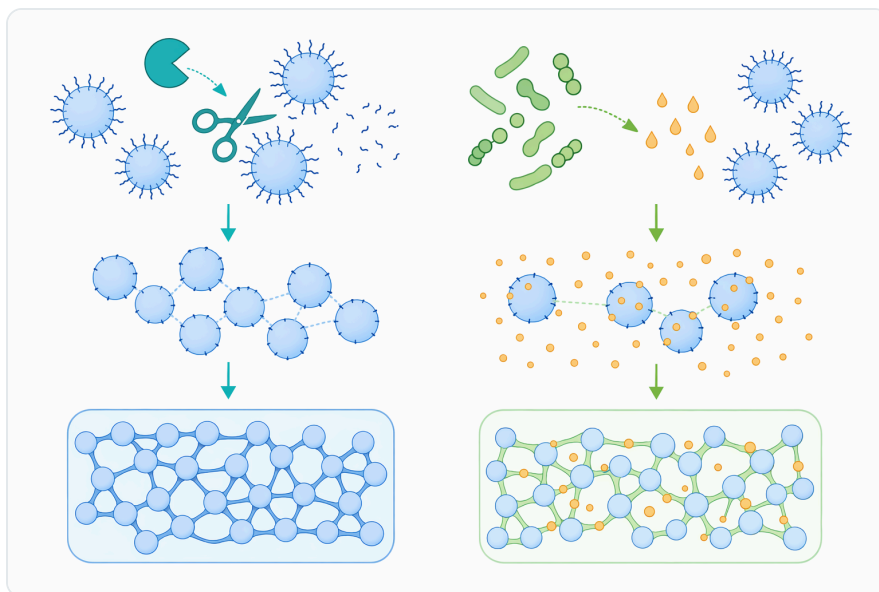


Figure 6. 優格式酸凝膠與凝乳酶誘導的凝乳酶凝膠雖然都能形成乳製凝膠結構，但其分子觸發機制不同。

與高純度 chymosin 相比，植物凝乳劑常見挑戰是蛋白酶組成較複雜，可能在凝乳之外帶來更強的非專一水解。這不代表植物凝乳劑不可用，而是它較適合特色產品開發或有明確感官目標的情境；若目標是大批量、低波動、可標準化的起司基底，高純度 chymosin 通常更容易作為第一選擇。

微生物凝乳酶也有類似情況。部分微生物凝乳酶可提供良好凝乳能力，但不同酵素的熱穩定性、蛋白水解譜與熟成影響差異很大。若以產品一致性為優先，使用者應把重點放在凝乳動力、熟成蛋白水解與風味缺陷風險，而不是只比較是否能讓乳「凝固」。

供應與文件資訊：Enzymes.bio 的角色

Enzymes.bio 是酵素供應商，並非酵素製造商或實驗室。此 chymosin 產品以 1 kg 單位在線上直接銷售，適合需要導入乳凝酵素的食品加工與產品開發團隊依既有內部流程評估使用；CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，以支援收貨、品質文件管理與安全資料留存。

對採購與研發團隊而言，這類文件的意義在於建立原料可追溯與內部合規紀錄，而不是取代工廠自身的配方驗證。乳品製程受原料、設備與產品目標影響很大；即使使用同一種 chymosin，不同工廠也可能因乳源標準化、熱處理、菌種酸化曲線或切割條件不同，而得到不同凝塊表現。

Enzymes.bio 的 dairy enzymes 類別也涵蓋乳品加工常見酵素，例如與乳糖水解、風味生成或脂肪水解相關的酵素；但 chymosin 的角色最明確地集中在乳凝與起司凝塊形成。將 chymosin 與 lactase、lipase 或其他蛋白酶區分，有助於配方設計時避免功能混淆。

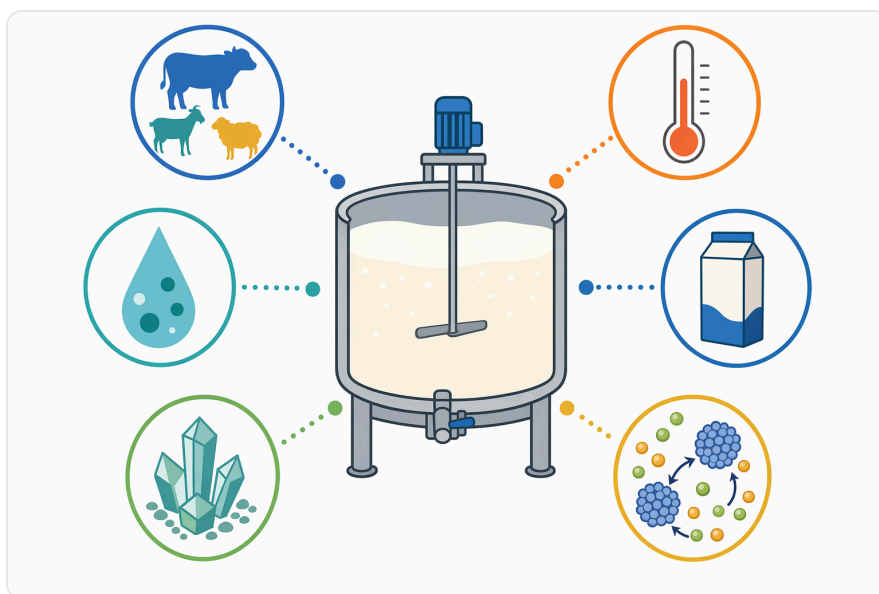


Figure 7. 凝乳酶的表現取決於乳的組成、pH 值、溫度、鈣平衡、加工歷史以及添加成分。

導入時的技術判讀重點

在起司製造中評估 chymosin，不應只觀察「是否凝固」，而應觀察凝固時間、凝膠強度、切割後顆粒完整性、乳清清澈度、乳清中固形物流失、壓榨後水分，以及熟成期間質地與風味變化。這些指標共同決定酵素是否適合某一產品，而不是單一凝乳速度。

若是硬質或半硬質起司，凝塊強度與切割穩定性通常是前段重點；若是軟質或新鮮乳酪，保水性、口感細緻度與乳清析出更受關注。若是優格型或發酵凝固乳製品，則需要特別檢視 chymosin 與酸凝膠機制是否互相配合，而不是讓 rennet coagulation 與酸化曲線互相干擾。

高純度 chymosin 的合理期待是：在適當乳源與製程條件下，提供可預期的 κ -casein 切割與凝乳起點，並降低非專一性蛋白水解造成的額外變數。它不能單獨修正蛋白含量不足、鈣平衡不佳、熱處理過強、pH 控制不穩或機械切割不當等問題；但在這些條件被妥善管理時，能成為穩定起司製程的核心酵素。

結語

Chymosin 是起司與 rennet-type 凝固乳製品中最具代表性的乳凝酵素，其核心機制是選擇性切割 κ -casein，使 casein micelle 失去穩定外層並聚集成凝塊。高純度 chymosin 的實務價值在於提高凝乳反應的可控性，降低非專一性蛋白水解對凝塊、產率與熟成風味的干擾。

Promote Cheese Yogurt Coagulation High Purity Rennet Chymosin Enzyme Chymosin 適合以起司凝乳、凝固乳製品質地設計與乳品配方標準化為目標的應用場景。Enzymes.bio 作為供應商提供 1 kg 線上銷售包裝，CoA 與 SDS 隨訂單提供；實際導入時，仍應將乳源、pH、鈣平衡、溫度、酸化條件與機械操作納入完整製程評估。

線上訂購 Promote Cheese Yogurt Coagulation High Purity Rennet Chymosin Enzyme 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 Promote Cheese Yogurt Coagulation High Purity Rennet Chymosin Enzyme 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. Lepilkina, O. V., Grigorieva, A. I., & Researcher, J. (2023). Enzymatic proteolysis during the conversion of milk into cheese. *Food systems*.
2. Visser, S., & Rollema, H. (1986). Quantification of chymosin action on nonlabeled kappa-casein-related peptide substrates by ultraviolet spectrophotometry: description of kinetics by the analysis of progress curves. *Analytical Biochemistry*, 153 2, 235-41 .
3. Li, C., Liu, F., Zheng, J., & Zhao, H. (2021). A novel electrochemical assay for chymosin determination using a label-free peptide as a substrate. *Journal of Dairy Science*.
4. Ustunol, Z., & Zeckzer, T. (1996). Relative proteolytic action of milk-clotting enzyme preparations on bovine α -, β - and κ -casein. *Journal of Food Science*, 61, 1136-1137.
5. Trujillo, A., Guamis, B., & Carretero, C. (1998). Hydrolysis of bovine and caprine caseins by rennet and plasmin in model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 3066-3072.
6. Pacifico, S., Caputo, E., Piccolella, S., & Mandrich, L. (2024). Exploring New Fruit- and Vegetable-Derived Rennet for Cheese Making. *Applied Sciences*.
7. Nosedà, D., Recúpero, M., Blasco, M., Bozzo, J., & Galvagno, M. (2016). Production in stirred-tank bioreactor of recombinant bovine chymosin B by a high-level expression transformant clone of *Pichia pastoris*. *Protein Expression and Purification*, 123, 112-21 .
8. Júnior, B. R. C. L., Tribst, A., & Cristianini, M. (2017). The effect of high pressure processing on recombinant chymosin, bovine rennet and porcine pepsin: Influence on the proteolytic and milk-clotting activities and on milk-clotting characteristics. *Lwt - Food Science and Technology*, 76, 351-360.
9. Iannella, G. (2015). Equid milk renneting through pure camel chymosin and cheese manufacturing. *Direct Research*.


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。