

Bulk Food Additive Gelatin Hydrolase：食品用明膠水解酵素的作用機制、應用與配方開發重點

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

Bulk Food Additive Gelatin Hydrolase 是用於食品加工的明膠 / 膠原蛋白水解酵素，主要用途是將高分子明膠或膠原衍生物切割成較短胜肽，以改善溶解性、降低黏度、調整質地，並支援膠原胜肽、蛋白水解物、可食性薄膜與複合食品材料的開發。酵素水解的價值在於反應條件相對溫和，能透過時間、pH、溫度、底物狀態與後段處理控制水解程度，而不是單純把蛋白質「完全分解」。Enzymes.bio 供應此產品作為 1 kg 線上購買品項，訂單會隨附 CoA 與 SDS，供研發、配方與製程團隊做內部文件管理與合規評估。

酵素名稱與主要應用：Gelatin Hydrolase 用於明膠水解與食品配方調整

Gelatin Hydrolase 可理解為具有明膠水解能力的蛋白水解酵素類產品，目標底物是明膠、膠原蛋白衍生物，或含有明膠結構特徵的食品蛋白系統。明膠本身來自膠原蛋白的熱變性與部分水解，仍保留大量能形成凝膠、增加黏度與建立網狀結構的高分子鏈段；當這些鏈段再經酵素控制性切割後，會形成分子尺寸較小、流動性較高的明膠水解物或膠原胜肽，適合用於飲品、粉末營養品、肉品加工、可食性膜、微膠囊與 3D 食品列印等應用開發^[1]。

在食品技術語境中，Gelatin Hydrolase 的核心不是替代所有明膠功能，而是把「凝膠形成、黏度建立、保水與成膜」這類高分子特性，轉化成「溶解、分散、乳化輔助、胜肽化與配方流動性」等較適合加工的特性。魚加工副產物、魚皮、魚鱗、牛皮、豬皮與其他動物性膠原來源，皆已被研究作為明膠或明膠水解物來源；例如魚鱗經水熱前處理後再酵素水解，可被導向明膠水解物生產，顯示此技術路線與副產物加值、循環生物經濟有明確連結^[2]。

明膠與膠原為何需要「控制性水解」

明膠的優勢是能形成凝膠、增稠、成膜與穩定泡沫或乳化系統；但同樣的高分子特性也可能造成加工限制。高黏度會提高混合、泵送、濃縮與乾燥負荷；凝膠化則可能讓某些飲品、即溶粉末或液態半成品不易維持均一狀態。魚加工廢棄物萃取得到的明膠，其物理化學與技術功能性會受到來源、萃取條件與組成影響，因此後續是否需要水解，通常取決於目標產品是要保留凝膠性，還是轉向可溶性胜肽與低黏度加工^[3]。

控制性水解的目的，是在不把蛋白質完全破壞的前提下，切斷部分肽鍵，使高分子明膠轉為較短鏈段。這些鏈段仍可保有胺基酸組成與部分序列特徵，但分子間纏結、氫鍵網絡與三股螺旋重組能力會下降，因此黏度降低、冷卻後凝膠能力減弱，並提升在水相系統中的分散性。食品廢棄物酵素水解研究也指出，酵素處理可改變複雜食品基質中可溶性成分的釋放與後續生物轉化效率，反映蛋白質、碳水化合物與脂質被酵素打開後，會改變整體基質可利用性^[4]。

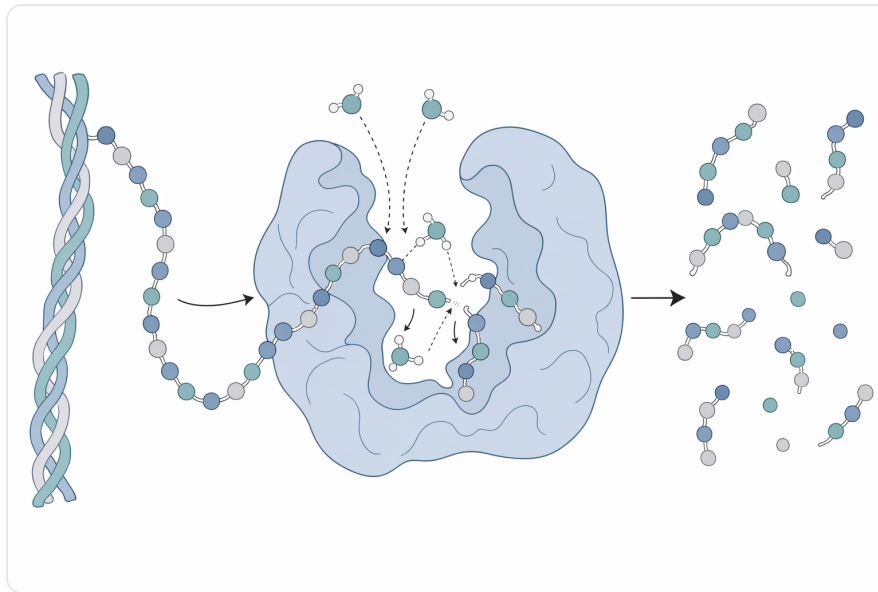


Figure 1. 明膠水解酶會切斷明膠中的肽鍵，產生可溶性膠原蛋白肽與胺基酸片段。

作用機制：蛋白酶如何切割明膠分子

Gelatin Hydrolase 的基本作用，是催化明膠或膠原衍生蛋白中的肽鍵水解。明膠鏈段富含甘胺酸、脯胺酸與羧脯胺酸等膠原特徵胺基酸，原本容易透過氫鍵與鏈段排列形成黏彈性結構；酵素介入後，肽鍵被切開，長鏈變成中短鏈多肽與少量更小片段。不同蛋白水解酵素對切割位點有不同偏好，因此同樣的明膠底物，可能因酵素特性而產生不同分子量分布、風味、乳化性與成膜行為^[1]。

這種機制也解釋了為何「水解程度」不是越高越好。輕度至中度水解可能改善流動性、溶解性與界面活性；過度水解則可能使凝膠性、成膜強度或口感支撐下降，甚至增加苦味風險。近年針對植物蛋白與食品多肽的研究也有類似結論：酵素水解會同時改變分子尺寸、表面疏水性、帶電狀態與構形鬆散度，進而影響溶解、乳化、起泡、凝膠與生物活性表現^[5]。

從大分子明膠到可加工胜肽的三個層次

第一個層次是物理層次：分子鏈變短後，溶液中鏈段纏結降低，宏觀上表現為黏度下降、泵送與混合更容易。第二個層次是膠體層次：水解後的多肽可能暴露原本埋藏在分子內部的親水或疏水區段，改變其與水、油滴、氣泡或多糖的交互作用。第三個層次是功能層次：若水解產物保留特定序列或產生

具界面活性的兩親性片段，可能支援乳化、抗氧化、包埋或口感調整等配方目標；食品胜肽研究已將分子大小、胺基酸序列與功能表現視為開發重點^[6]。

在膠原與明膠系統中，前處理也會改變酵素可及性。例如魚鱗、魚皮或結締組織若仍含礦物、脂質或緊密交聯結構，酵素不一定能直接有效接觸目標肽鍵；水熱、脫脂、均質或其他溫和前處理可先鬆動基質，讓後續酵素水解更有效率。以魚鱗加值研究為例，水熱前處理後再進行酵素水解，是將堅硬膠原來源導向明膠水解物的重要策略之一^[2]。

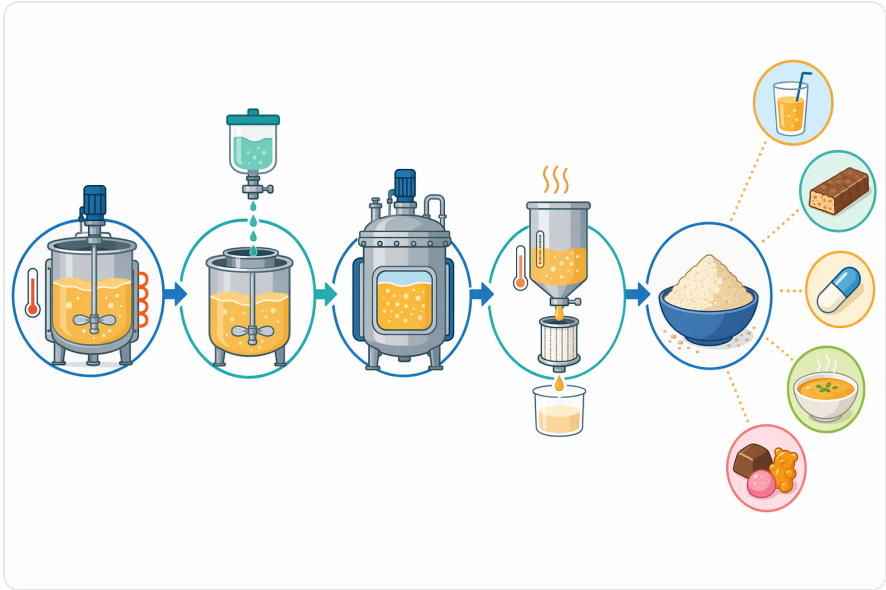


Figure 2. 工業明膠水解會將溶解的明膠轉化為經過過濾與乾燥的肽類原料，用於食品與營養產品。

Gelatin Hydrolase 與常見加工路線比較

明膠或膠原蛋白的改質方式不只酵素水解，也可能包括熱處理、酸鹼處理、物理場輔助、交聯或與多醣 / 蛋白複合。不同路線的目的不同：若要保留凝膠性與膜強度，可能不會追求深度水解；若要製備可溶性膠原胜肽或降低液體黏度，酵素水解更具針對性。高靜水壓對魚明膠酵素水解的研究顯示，物理處理可與酵素作用結合，透過改變蛋白構形與酵素可及性影響水解結果^[7]。

加工路線	主要作用	對明膠分子結構的影響	常見應用方向	主要限制
酵素水解	切割肽鍵，產生多肽與胜肽	分子量下降，黏度與凝膠能力通常降低	膠原胜肽、低黏度飲品、蛋白水解物、功能性配料	需控制水解程度，避免風味或質地偏離
熱處理	變性、溶解、調整凝膠形成	可促進溶解，也可能造成熱降解	明膠溶解、殺菌前後流程整合	選擇性較低，可能影響色澤與風味

加工路線	主要作用	對明膠分子結構的影響	常見應用方向	主要限制
酸鹼處理	改變電荷、溶脹與部分化學水解	可能造成較廣泛結構變化	原料前處理、膠原萃取	條件較劇烈，需重視中和與副產物
物理場輔助	改變構形、分散或傳質	可提升酵素可及性或流體混合	高壓、渦流、均質輔助水解	設備依賴度較高
與多醣 / 蛋白複合	建立網絡、膠囊或薄膜	分子間作用改變而非單純切割	可食性膜、微膠囊、質地設計	需平衡相容性與穩定性

渦流流體技術結合魚皮明膠水解並用於 3D 列印材料的研究，正好說明「酵素」與「製程物理條件」可以共同設計材料特性，而非各自獨立。當目標是列印性、擠出穩定或吞嚥友善食品時，水解程度、黏彈性與成形後結構維持之間需要取得平衡^[8]。

主要應用一：膠原胜肽與明膠水解物

最直接的應用，是將明膠轉化為可溶性膠原胜肽或明膠水解物。這類原料常見於即飲飲品、沖泡粉、營養補充品、蛋白強化食品與高齡營養配方。與未水解明膠相比，水解物通常較不易在冷卻後形成強凝膠，也較適合需要透明、流動或快速分散的配方。食品蛋白水解物的功能性與生物特性會受到酵素系統、底物來源與後處理影響；魚加工副產物水解物研究已顯示，適當酵素系統可提升水解物效率與生物特性^[9]。

在產品設計上，膠原胜肽並不同於單一化學物質，而是一群不同鏈長與序列的多肽混合物。因此，配方開發通常會關注溶解速度、澄清度、熱加工穩定、風味負擔、與其他成分的相容性，而不只是蛋白含量。食品來源胜肽被研究用於抗氧化、調節界面特性與其他生物活性，但不同來源與水解條件造成的差異很大；若要將水解物用於特定健康訴求，仍須依終端市場法規與產品自身資料審慎處理^[6]。

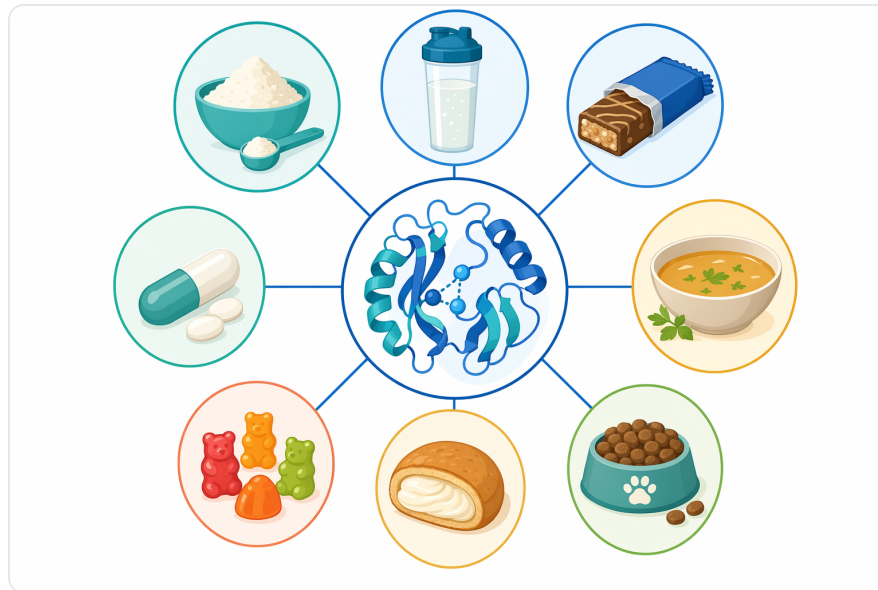


Figure 3. 明膠水解酶可用於製造膠原蛋白肽原料，應用於飲品、補充品、食品、糖果與營養產品。

主要應用二：肉品、海產與加工食品中的質地及氧化穩定設計

明膠水解物可被納入肉品或加工食品配方中，用於改善口感、保水、質地或抗氧化相關表現。牛皮明膠水解物添加於雞肉加工的研究，即探討其對抗氧化特性、質地與色澤的影響，顯示明膠水解物不只是一種蛋白補充來源，也可能成為調整肉品加工品質的功能性配料^[10]。

但這類應用需要注意平衡。水解物如果分子量太小，可能無法提供足夠結構支撐；如果水解不足，則可能提高黏度或產生冷凝膠問題。明膠與其他蛋白或膠體共同存在時，會因電荷、鹽度、熱歷程與水分分布不同而出現不同凝膠行為；水母明膠與膠原及部分蛋白共同作用的研究即指出，蛋白組成會影響明膠凝膠性質，這對肉品、仿生海鮮與複合凝膠食品相當重要^[11]。

主要應用三：可食性膜、活性包材與生物基材料

明膠是可食性膜與生物基包材的重要成膜蛋白之一，原因是其可形成透明薄膜、與多醣相容，並能提供一定阻隔與機械性質。不過，未水解明膠膜有時較脆、對濕度敏感，或在加工中黏度偏高；適度水解可改變分子間作用，進而影響膜的柔韌性、溶脹、透明度與活性成分釋放。魚明膠薄膜從食品加工廢棄物到可堆肥材料的研究，已將魚來源明膠視為永續包材的一條技術路徑^[12]。

近年的蛋白質基薄膜與塗層研究，更關注「活性包材」：例如抗氧化、抗菌、濕度反應或延長保存的功能。明膠可與多醣、植物萃取物、奈米纖維素、海藻酸鹽等形成複合系統；若先透過 Gelatin Hydrolase 調整分子鏈長，可能改變其與其他高分子的混合均勻性與薄膜結構。蛋白質基活性食品包裝綜述指出，蛋白薄膜的阻隔、機械與活性釋放表現，與蛋白來源、塑化劑、交聯與複合方式密切相關^[13]。

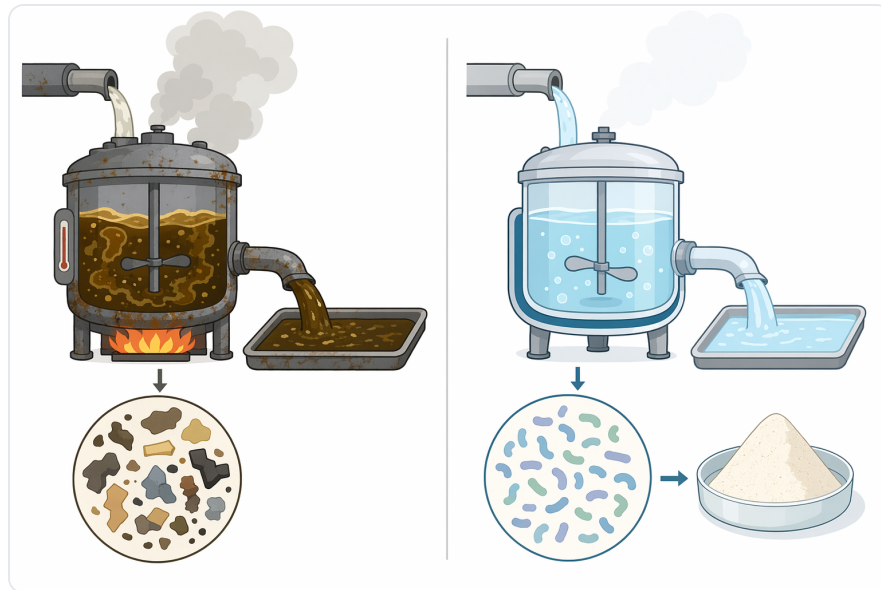


Figure 4. 與酸水解或高溫水解相比，酵素法明膠水解的加工條件更溫和，且能更受控地生產肽類。

冷水魚皮明膠與海藻酸鈉製備可食性薄膜的研究，則說明魚明膠可與多醣共同建立膜結構。對於包材開發者而言，Gelatin Hydrolase 的角色可放在前段材料調性：它能降低明膠分子尺寸、改變溶液流變，讓塗佈、鑄膜、噴塗或與其他膠體混合時更容易調整加工窗口^[14]。

主要應用四：微膠囊、益生菌保護與複合膠體

明膠也常被用於微膠囊、包埋與保護性膠體，尤其在益生菌、香料、油脂或敏感活性物質的食品應用中具有價值。駱駝乳來源益生菌被包埋於酪蛋白與明膠複合微膠囊的研究，探討其在熱挑戰與模擬胃腸消化條件下的穩定性，顯示明膠複合材料可用於提高生物活性成分在加工與消化環境中的存活^[15]。

在這類系統中，明膠水解程度會影響膠囊壁的緻密度、溶脹速度與釋放行為。完全保留高分子明膠可能提高成膜與膠囊強度，但也可能造成溶液黏稠、包埋不均；適度水解則可能改善分散與混合，但若水解過度，壁材結構可能不夠穩。近年以玻尿酸、明膠、海藻酸鈉與魚精蛋白形成複合系統包埋 *Enterococcus faecium* 的研究，也顯示明膠可在多組分膠體中提供保護與穩定功能^[16]。

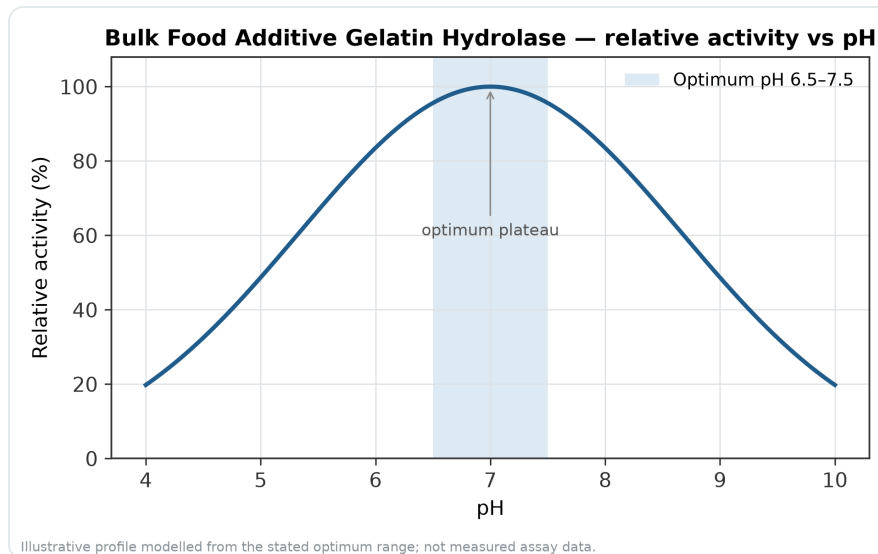


Figure 5. 散裝食品添加劑明膠水解酶相對活性隨 pH 值變化的情形，顯示其最佳活性平台位於 pH 6.5–7.5。

主要應用五：3D 食品列印與吞嚥友善食品

3D 食品列印需要材料在擠出時具有適當流動性，成形後又能維持形狀。未水解明膠可能在低溫下快速形成凝膠，對噴嘴流動與層疊穩定皆有影響；過度水解則可能讓材料太軟、支撐不足。魚皮明膠經渦流輔助酵素水解後用於 3D 列印的研究，反映明膠水解物可作為調整列印墨水流變與結構的一種工具^[8]。

吞嚥困難食品同樣需要精準質地控制：太稀可能增加誤吸風險，太硬或太黏則不利吞嚥。3D 列印吞嚥友善食品的綜述指出，食品來源、加工技術、列印性、營養、接受度與安全都必須同時考量；在此脈絡下，Gelatin Hydrolase 的價值在於協助調整明膠基底的流動與凝膠行為，使蛋白質營養與質地需求更容易共同設計^[17]。

製程設計重點：水解不是單一步驟，而是配方工程

Gelatin Hydrolase 的應用通常包含四個階段：底物準備、酵素反應、反應停止與後段調配或乾燥。底物準備包含明膠溶解、分散、均質，或針對魚皮、魚鱗、骨與結締組織等原料進行前處理。食品與木質纖維廢棄物的酵素水解動力學回顧指出，底物結構、固形物濃度、傳質、抑制物與反應條件都會影響水解效率，因此實務上不能只看酵素本身，還要看整個基質是否讓酵素接近目標鍵結^[18]。

反應控制通常圍繞 pH、溫度、時間、底物濃度、攪拌與終點設計。這些條件不宜被視為固定公式，因為不同來源明膠的凝膠強度、灰分、脂質殘留、交聯程度與分子量分布不同，會導致反應速度與產物性質差異。高固形物食品廢棄物酵素水解與發酵研究也顯示，當系統固形物提高，流變、傳質與反應均一性會成為關鍵變因，這對高濃度明膠水解製程同樣具有參考價值^[19]。

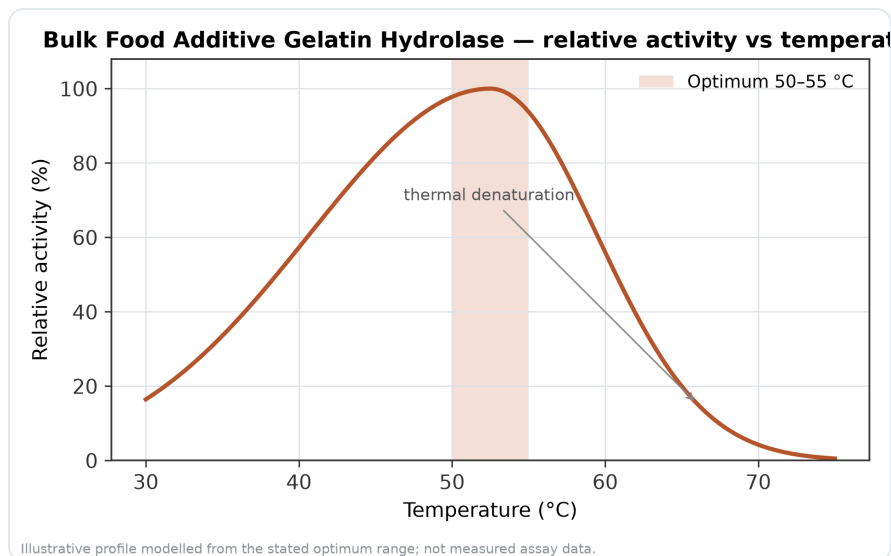


Figure 6. 散裝食品添加劑明膠水解酶相對活性隨溫度變化的情形，最佳溫度為 50–55 °C，且在超過最佳溫度後呈現典型的熱變性活性下降。

後段處理則決定水解物能否成為穩定原料。反應達到目標後，通常需要停止酵素作用，避免分子量繼續下降；之後可依產品形式進行濃縮、過濾、調味、複配或乾燥。若目標是飲品，關注點會偏向澄清、沉澱、熱加工穩定與風味；若目標是粉末，則需考慮吸濕、流動性、溶解速度與甜味劑、酸味劑、礦物質或香料的相容性。食品廢棄物酵素水解替代方案的成本效益分析也提醒，酵素製程的價值需要與能源、前處理、反應時間與下游處理一起評估^[20]。

配方影響：溶解性、黏度、風味與功能性的取捨

水解後最明顯的改變通常是黏度下降與溶解性改善。對飲品與粉末來說，這可以減少結塊、提高蛋白添加量的操作彈性，並降低冷卻後凝膠化的風險。對半固態食品而言，部分水解的明膠可提供較柔和的口感與較低凝膠強度，但也可能削弱切面、彈性或保水力，因此需與澱粉、果膠、卡拉膠、海藻酸鹽或其他蛋白共同設計^[1]。

風味是另一個不可忽視的變因。蛋白水解可能釋放帶苦味或金屬感的疏水性胜肽，尤其在水解程度提高時更容易被感知；但若水解控制得宜，也可能減少明膠的膠感與動物來源氣味。植物蛋白水解研究指出，酵素水解在改善功能性的同時，也會影響感官與消化相關特性，代表配方開發需把分子特性與終端口感一起評估^[5]。

永續與副產物增值：魚皮、魚鱗、骨與食品加工剩餘物

Gelatin Hydrolase 的另一個重要應用，是協助食品加工副產物增值。海產加工產生的魚皮、魚鱗、魚骨與修整邊料含有膠原蛋白，若能轉化為明膠、水解明膠或膠原胜肽，可降低廢棄物並創造新原料來源。海鮮加工廢棄物多元利用的綜述指出，這類副產物可被導向蛋白、膠原、明膠、油脂、礦物與生物活性成分等多種產品，是食品產業永續化的重要方向^[21]。

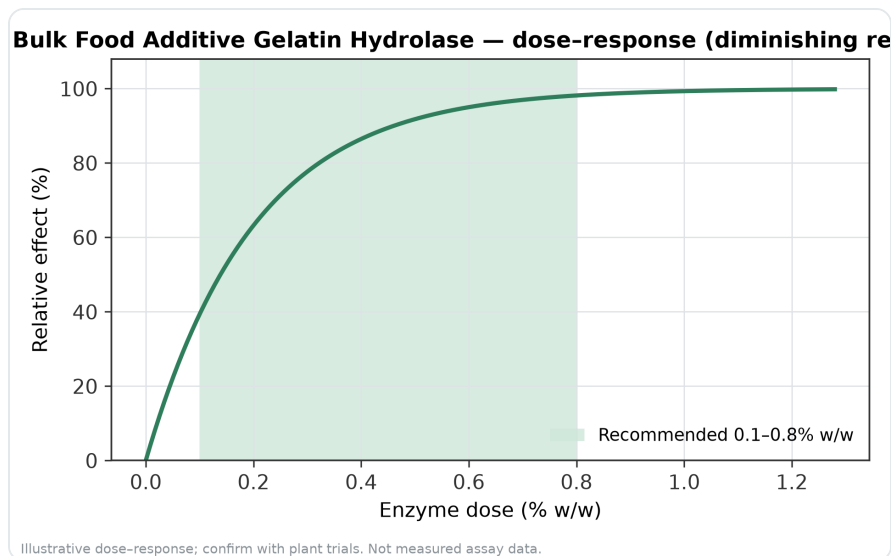


Figure 7. 散裝食品添加劑明膠水解酶在建議使用範圍（0.1–0.8% w/w）內的示意性劑量 - 反應關係。

動物骨與結締組織也有類似潛力。近年循環生物經濟相關回顧將骨加工產物與應用視為資源化議題，包含膠原、明膠、礦物質與其他衍生物。對明膠水解酵素而言，這代表原料來源不只限於標準商用明膠，也可能延伸到經前處理後的副產物萃取液或半成品；但不同來源涉及過敏原、宗教規範、標示與市場接受度，需由終端品牌依銷售地法規處理^[22]。

合規、文件與使用邊界

Enzymes.bio 是供應商，不是製造商，也不是實驗室；產品以 1 kg 單位在線上直接銷售，訂單會隨附 CoA 與 SDS。對食品、營養品或包材開發團隊而言，這些文件可用於內部原料建檔、安全管理與後續法規審查，但最終產品是否可標示為食品添加物、加工助劑、蛋白原料或其他分類，仍取決於使用國家 / 地區、終端配方、使用量、宣稱與製程定位。

食品用酵素在產業中具有既定使用框架，但不同酵素來源、製程用途與殘留狀態可能導致不同管理要求。由於 Gelatin Hydrolase 作用於動物性明膠或膠原衍生物，終端產品還需考量來源標示、清真或猶太等市場需求、過敏原與素食 / 純素限制。這些議題並非酵素本身即可完全決定，而是由底物來源、製程記錄與最終上市地法規共同決定^[23]。

何時適合導入 Gelatin Hydrolase

若配方目標是高凝膠強度、咀嚼彈性或果凍型結構，未水解或低度處理的明膠可能更合適；若目標是低黏度、高溶解、蛋白補充、胜肽化、噴霧乾燥前降黏、或把明膠納入複合薄膜與微膠囊系統，Gelatin Hydrolase 的價值會更明顯。簡言之，它適合用在「需要保留蛋白來源，但不需要強凝膠」的情境。

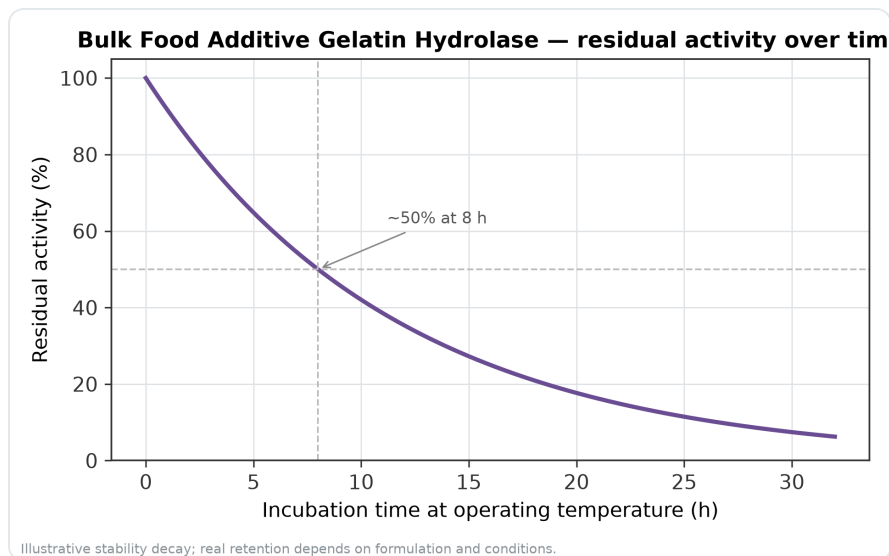


Figure 8. 散裝食品添加劑明膠水解酶的示意性熱穩定性衰減——在操作溫度下，殘餘活性會隨時間下降。

導入時應把它視為配方與製程調整工具，而非單一功效成分。最重要的結果指標通常包括水解後的流動性、溶解性、澄清度、沉澱風險、風味、與其他膠體或蛋白的相容性。對於開發膠原胜肽、魚明膠水解物、可食性膜、肉品質地改良或 3D 列印食品的團隊，Gelatin Hydrolase 可提供一條比劇烈化學處理更具選擇性的蛋白改質路徑^[9]。

結論：以可控水解提高明膠原料的加工彈性

Bulk Food Additive Gelatin Hydrolase 的核心價值，在於將明膠或膠原衍生物由高分子、易增稠與易凝膠的狀態，轉化為更易溶解、易分散、可調流變與可用於胜肽化配方的原料型態。這種轉化建立在蛋白酶切割肽鍵的機制上，並受到底物來源、前處理、pH、溫度、反應時間、固形物狀態與後段處理共同影響。

對食品工業而言，它可服務於膠原胜肽、明膠水解物、肉品加工、可食性膜、活性包材、益生菌包埋與 3D 食品列印等多種應用；但每一種應用都需要在溶解性、黏度、凝膠性、風味與功能性之間取得平衡。Enzymes.bio 以供應商角色提供 1 kg 線上購買品項，並隨訂單提供 CoA 與 SDS；使用者可依自身配方、製程與上市地法規，將 Gelatin Hydrolase 納入明膠水解與蛋白質材料設計流程。

線上訂購 Bulk Food Additive Gelatin Hydrolase

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 Bulk Food Additive Gelatin Hydrolase →](#)

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. Zhang, W., Li, M., Chen, J., Chen, Y., Liu, C., & Wu, X. (2024). A Review of Modified Gelatin: Physicochemical Properties, Modification Methods, and Applications in the Food Field. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
2. Zhang, Y., Tu, D., Shen, Q., & Dai, Z. (2019). Fish Scale Valorization by Hydrothermal Pretreatment Followed by Enzymatic Hydrolysis for Gelatin Hydrolysate Production. *Molecules*, 24.
3. Joy, J. M., Dara, P. K., Amruth, P., Jacob, M. R., Dhandapani, N., Mathew, S., & Anandan, R. (2023). Evaluation of the Physicochemical and Techno-functional Properties of Gelatin Extracted from Fish Processing Waste. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*.
4. Han, W., Yan, Y., Shi, Y., Gu, J., Tang, J., & Zhao, H. (2016). Biohydrogen production from enzymatic hydrolysis of food waste in batch and continuous systems. *Scientific Reports*, 6.
5. Gasparre, N., Rosell, C. M., & Boukid, F. (2024). Enzymatic Hydrolysis of Plant Proteins: Tailoring Characteristics, Enhancing Functionality, and Expanding Applications in the Food Industry. *Food and Bioprocess Technology*, 18, 3272 - 3287.
6. Bidram, M., & Ganjalikhany, M. R. (2024). Bioactive peptides from food science to pharmaceutical industries: Their mechanism of action, potential role in cancer treatment and available resources. *Heliyon*, 10.
7. Okur, I., Oztop, M., & Alpas, H. (2025). Effect of High Hydrostatic Pressure (HHP) on the Enzymatic Hydrolysis of Fish Gelatin. *Biofactors*, 51.
8. Sun, X., Wu, Y., Wang, H., He, S., Young, D. J., Thennadil, S., Raston, C. L., ... et al. (2025). Vortex fluidic enhanced enzymatic hydrolysis of gelatin from barramundi skin for 3D printing. *Frontiers in Sustainable Food Systems*.
9. Sapatinha, M., Camacho, C., Pais-Costa, A. J., Fernando, A., Marques, A., & Pires, C. (2024). Enzymatic Hydrolysis Systems Enhance the Efficiency and Biological Properties of Hydrolysates from Frozen Fish Processing Co-Products. *Marine Drugs*, 23.
10. Nuñez, S. M., Cárdenas, C., Valencia, P., Pinto, M., Silva, J., Pino-Cortés, E., & Almonacid, S. (2023). Effect of Adding Bovine Skin Gelatin Hydrolysates on Antioxidant Properties, Texture, and Color in Chicken Meat Processing. *Foods*, 12.
11. Lueyot, A., Rungsardthong, V., Vatanyoopaisarn, S., Hutangura, P., Wongsanu, B., Wongsan-ngasri, P., Charoenlappanit, S., ... et al. (2021). Influence of collagen and some proteins on gel properties of jellyfish gelatin. *PLoS ONE*, 16.
12. Etxabide, A., Leceta, I., Cabezudo, S., Guerrero, P., & Caba, K. (2016). Sustainable Fish Gelatin Films: from Food Processing Waste to Compost. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4, 4626-4634.
13. Zubair, M., Mujahid, M., Shahzad, S., Rauf, Z., Hussain, A., Ayyash, M. M., & Ullah, A. (2025). Exploring protein-based films and coatings for active food packaging applications: A comprehensive review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 146070 .

14. Kolotova, D., Bordiyan, V., Borovinskaya, E., & Voropaeva, S. (2025). Edible Gelatin Films from Cold Water Fish Skin and Sodium Alginate. *Food processing*.
15. Devarajan, A., Mudgil, P., Aldhaheeri, F., Hamed, F., Dhital, S., & Maqsood, S. (2022). Camel milk-derived probiotic strains encapsulated in camel casein and gelatin complex microcapsules: Stability against thermal challenge and simulated gastrointestinal digestion conditions. *Journal of Dairy Science*.
16. Wang, L., Sun, Y., Li, S., Wang, K., Liu, Y., Cai, R., Yue, T., ... et al. (2025). Encapsulation of Enterococcus faecium in hyaluronic acid/gelatin/sodium alginate/protamine improves cell viability and stability. *International Journal of Biological Macromolecules*, 142948 .
17. Molimi, M. B., Egan, P. F., & Adebo, O. (2024). Progress in three-dimensional (3D) printed foods for dysphagia patients: Food sources, processing techniques, printability, nutrition, acceptability, and safety aspects. *Food Research International*, 202, 115629 .
18. Patria, R. D., Rehman, S., Vuppalladadiyam, A., Wang, H., Lin, C. S. K., Antunes, E., & Leu, S. (2022). Bioconversion of Food and Lignocellulosic Wastes employing Sugar Platform: A review of enzymatic hydrolysis and kinetics. *Bioresource Technology*, 127083 .
19. Zhou, H., Jiang, J., Zhao, Q., Wang, Z., Li, L., Gao, Q., & Wang, K. (2023). Performance of high solids enzymatic hydrolysis and bioethanol fermentation of food waste under the regulation of saponin. *Bioresource Technology*, 129486 .
20. Ghinea, C., Ungureanu-Comăniță, E., Țăbuleac, R., Oprea, P. S., Coșbuc, E. D., & Gavrilă, M. (2025). Cost-Benefit Analysis of Enzymatic Hydrolysis Alternatives for Food Waste Management. *Foods*, 14.
21. Lal, J., Deb, S., Singh, S. K., Biswas, P., Debbarma, R., Yadav, N., Debbarma, S., ... et al. (2023). Diverse uses of valuable seafood processing industry waste for sustainability: a review. *Environmental science and pollution research international*, 1-15.
22. Pereira, A. C., Santos, J. R. D., & Silva, J. V. F. D. (2025). ANIMAL BONE PROCESSING FOR A CIRCULAR BIOECONOMY: METHODS, PRODUCTS, APPLICATIONS, AND POLICY (2020–2025 REVIEW). *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*.
23. Bahrami, S., Andishmand, H., Pilevar, Z., Hashempour-baltork, F., Torbati, M., Dadgarnejad, M., Rastegar, H., ... et al. (2024). Innovative perspectives on bacteriocins: advances in classification, synthesis, mode of action, and food industry applications. *Journal of Applied Microbiology*.

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

