

Soy Protein Modification Enzyme：黃豆蛋白溶解、乳化、風味與凝膠改質應用

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

Soy Protein Modification Enzyme 是用於調整黃豆蛋白結構與功能的酵素型加工助劑，主要應用在植物蛋白飲品、乳化系統、素肉 / 凝膠型食品、擠壓配方與發酵或水解蛋白原料。其核心價值不是「增加蛋白含量」，而是透過受控水解、去醯胺化或交聯等反應，改變黃豆蛋白的溶解性、界面吸附、保水、質地與風味表現。文獻整體支持：酵素改質可有效改變大豆分離蛋白與大豆濃縮蛋白的結構 - 功能關係，但結果高度取決於蛋白原料、酵素類型、處理程度與最終配方環境 ^[1]。

產品定位：什麼是 Soy Protein Modification Enzyme？

在 B2B 原料與配方語境中，「Soy Protein Modification Enzyme」通常指一類針對黃豆蛋白改質而選用的酵素製劑，而非單一反應機制的通用名稱。其處理對象可包含大豆分離蛋白 (soy protein isolate, SPI)、大豆濃縮蛋白、擠壓大豆蛋白、發酵前後的黃豆蛋白基質，或含黃豆蛋白的複合配方；常見目的包括提升水分散性、調整乳化膜、改善泡沫或凝膠、降低粗澀感，並使蛋白在加熱、酸化、剪切或擠壓流程中更容易被設計成可預期的材料 ^[2]。

Enzymes.bio 以供應商角色提供此類產品，並非製造商或第三方實驗室；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。本文的定位是教育型技術說明，協助食品研發、配方設計與原料採購人員理解「酵素如何改變黃豆蛋白」以及哪些應用最可能受益，而不是提供特定製造參數、活性單位、檢測方法或專屬製程配方。

為什麼黃豆蛋白需要酵素改質？

黃豆蛋白具有高營養價值與成熟供應鏈，但在食品配方中常面臨「營養很好、功能不一定穩」的問題。SPI 的主要貯藏蛋白如 β -conglycinin 與 glycinin 會受 pH、離子強度、加熱史、乾燥方式與剪切條件影響，導致溶解度下降、聚集、沉澱、口感粉感或乳化不穩；這些現象在高蛋白飲品、低脂乳化食品、植物肉與擠壓澱粉 - 蛋白複合產品中特別明顯 ^[3]。

酵素改質的吸引力在於反應條件相對溫和、選擇性高，且可在不完全破壞蛋白營養基礎的前提下調整分子尺寸、表面電荷、疏水性與蛋白 - 水 / 蛋白 - 油 / 蛋白 - 多醣之間的作用力。與單純加熱或強鹼改質相比，酵素處理更適合用來「微調」功能：例如讓飲品更穩定、讓植物肉凝膠更有彈性，或讓水解蛋白在保留界面活性的同時降低顆粒感 [4]。

三種主要作用機制：水解、去醯胺化與交聯

1. 受控蛋白水解：把大分子蛋白切成更有功能的片段

蛋白酶型改質是最常見的黃豆蛋白酵素處理路徑。蛋白酶會切割肽鍵，使原本緊密摺疊或聚集的大分子蛋白轉變為較小的多肽與胜肽；適度水解可增加可溶性片段、暴露親水基團與部分疏水區域，進而提升水分散性、界面吸附速度與乳化能力。以擠壓大豆濃縮蛋白為例，neutrane 處理被用於改變其功能性，顯示酵素水解可作為加工後蛋白再功能化的一種策略 [1]。

但水解並非越多越好。若切割過度，蛋白片段可能變得太小，無法在油水界面形成足夠強韌的黏彈性膜，也可能減弱凝膠網絡，甚至釋放苦味胜肽。因此，蛋白酶改質的實務重點是「達到目標功能所需的有限水解」，而不是追求最大分解；這也是為什麼同樣是黃豆蛋白水解物，在飲品、乳化、發泡或擠壓澱粉配方中的最佳處理程度可能完全不同 [2]。

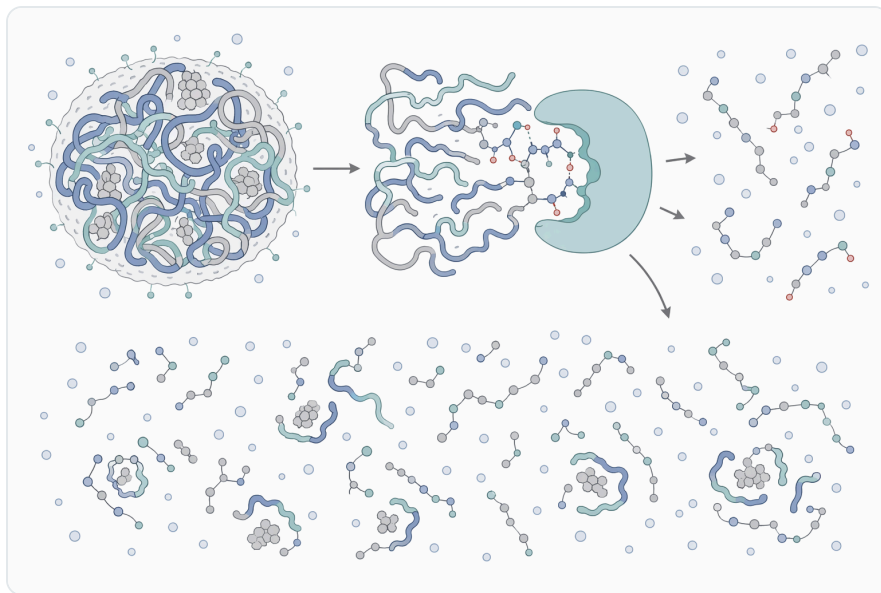


Figure 1. 大豆蛋白改質酶的作用方式，是將胜肽鍵切割成較小的胜肽，或在蛋白質鏈之間形成共價連結。

2. 去醯胺化：改變電荷與水合作用

protein-glutaminase 類型的作用重點不是把蛋白大幅切碎，而是催化蛋白中麩醯胺酸殘基的醯胺基轉為羧基，增加蛋白負電荷與親水性。對黃豆蛋白而言，這種電荷變化可降低等電點附近的聚集傾向，使分子間靜電排斥提高，同時增強與水的作用，進而改善分散性、乳化穩定性或熱加工下的流變

行為 [5]。

去醯胺化的加工意義在於，它可以在保留較大蛋白骨架的同時改變表面化學。相較於強烈水解造成分子量快速下降，去醯胺化更像是調整蛋白「外殼」的水合與帶電狀態，因此特別適合需要保留一定結構支撐力、但又希望改善溶解與界面表現的應用，例如植物基乳飲、乳化醬料或含蛋白穩定劑的複合懸浮系統。

3. 轉谷氨醯胺酶交聯：建立更強的蛋白網絡

轉谷氨醯胺酶 (transglutaminase, TGase) 則代表另一種方向：它可促進麩醯胺酸與離胺酸側鏈之間形成共價交聯，使蛋白分子連成較大的網絡。對黃豆蛋白凝膠、植物肉胚料或複合蛋白系統而言，交聯可提升結構完整性、保水性、切片性與熱穩定性；近期關於大豆蛋白與 β -lactoglobulin 雙蛋白系統的研究，也顯示 TGase 交聯會改變蛋白構象與致敏相關表位暴露情形，說明交聯不只是質地改變，也會牽動分子層級結構 [6]。

交聯策略的限制在於，過度網絡化可能降低溶解度，或使飲品配方出現粗顆粒與沉澱。因此，交聯酵素較適合凝膠、肉類替代品、蛋白纖維或需保水結構的食品；若目標是清爽飲用口感，則通常需更謹慎評估交聯程度與後續均質、熱處理、鹽類及多醣穩定系統的相容性 [7]。

酵素改質如何影響關鍵功能？

溶解度與分散穩定性

黃豆蛋白在等電點附近容易聚集，這是許多酸性飲品或高蛋白懸浮液的核心挑戰。受控水解可縮小顆粒與聚集體尺寸，去醯胺化可增加負電荷與水合作用，兩者都可能提升蛋白在水相中的分散穩定性；若搭配適當熱處理或物理分散流程，還可降低沉降、絮凝與口感沙粒感 [4]。

不過，溶解度提升不等於所有功能都提升。某些高度可溶的短肽雖然不易沉澱，卻可能缺乏形成乳化膜或凝膠骨架的能力；反之，較大但可展開的蛋白片段可能在界面或凝膠中更有價值。配方設計時通常需在「可溶性、界面強度、黏度、口感與熱穩定」之間取得平衡 [2]。

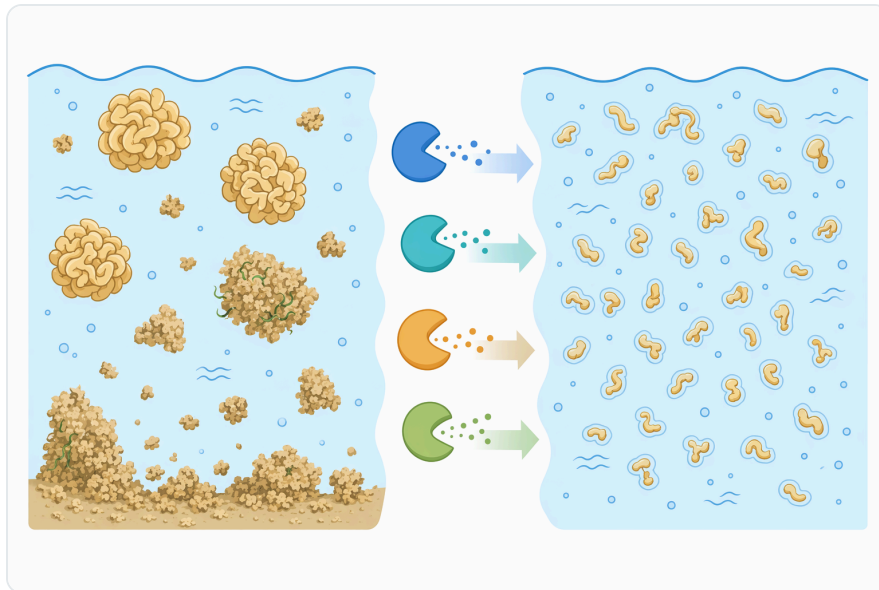


Figure 2. 天然大豆蛋白若因緊密的球狀結構與聚集體而不易水合與分散，可能表現不佳。

乳化力與油水界面膜

在乳化食品中，黃豆蛋白需要快速吸附到油水界面，降低界面張力，並形成可抵抗聚結的保護膜。適度酵素水解會增加分子柔軟性，使蛋白或多肽更容易重排於界面；同時，暴露的疏水區可與油相互動，親水區則伸入水相，形成兩親性結構。這是許多蛋白水解物可改善乳化活性的原因之一 [8]。

然而，乳化穩定性不是單靠「吸附快」即可決定。若水解過度，短肽雖然能迅速到達界面，但形成的膜可能太薄、太弱，無法在儲存、加熱或鹽分存在下保持穩定。近年有研究將黃豆蛋白與多酚或多醣進行雙重改質，目的就是在水解帶來界面活性的同時，透過非共價或共價作用補強界面膜與抗氧化穩定性 [9]。

發泡與泡沫穩定

泡沫系統與乳化系統相似，都依賴蛋白在氣 - 水界面的吸附與膜形成。酵素水解可改善蛋白展開速度，提高起泡能力；但泡沫穩定性仍需要足夠的膜黏彈性與分子間作用力。因此，在蛋糕、慕斯、蛋白泡沫飲或發泡型植物蛋白配方中，理想狀態通常是中度改質：讓蛋白更容易展開，但仍保留足以形成界面網絡的片段大小 [8]。

若配方同時含糖、多醣、油脂或乳化劑，酵素改質蛋白的表現可能被放大或削弱。例如多醣可增加連續相黏度、改善泡沫排液，但也可能與蛋白競爭界面或形成不相容相分離。這使 **Soy Protein Modification Enzyme** 在發泡應用中更像是一個「蛋白結構調節工具」，而非單獨決定泡沫品質的萬能添加物 [10]。

凝膠、保水與質地

黃豆蛋白凝膠常用於豆腐、素肉、植物基切片產品與高蛋白凝膠點心。凝膠形成涉及蛋白展開、疏水作用、氫鍵、二硫鍵、靜電作用與共價交聯等多重力量；冷凍 - 解凍循環研究也顯示，黃豆蛋白凝膠性質會隨分子間作用力改變而變化，說明微觀結構與宏觀質地密切相關 [11]。

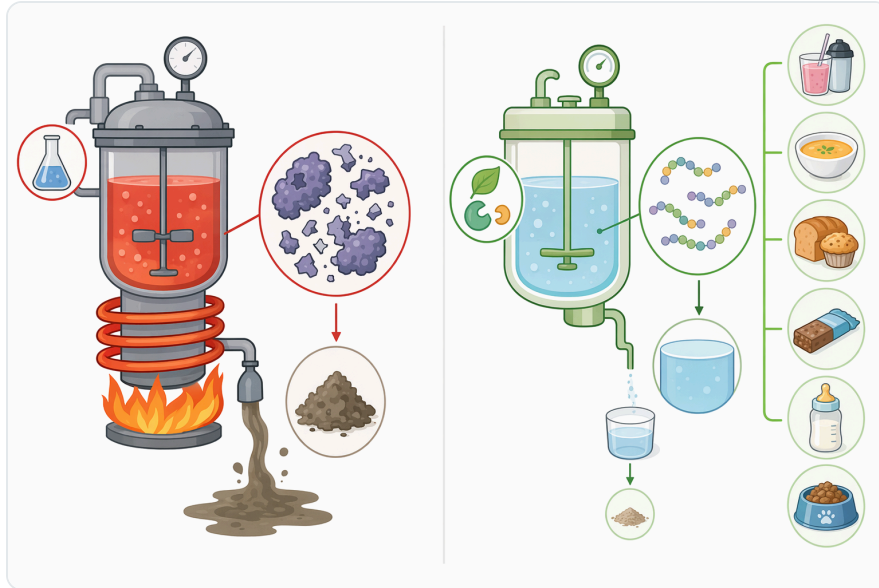


Figure 3. 水解通常有助於提升溶解度與界面表現，而交聯通常有助於增強網絡強度與質地。

在凝膠應用中，蛋白酶與交聯酶的角色可能相反但可互補。輕度水解可增加蛋白可動性與暴露反應位點，使後續熱凝膠或交聯更均勻；TGase 則可建立較穩定的共價網絡，提高彈性與保水。但若水解太深，網絡基材不足；若交聯太強，口感可能變硬、脆或不易成形。因此，凝膠型食品的酶改質需要以目標質地為導向，而不是以單一指標評估 [5]。

酵素改質與風味：不是只處理「豆腥味」

黃豆蛋白風味問題通常來自多個來源，包括脂質氧化產物、醛酮類揮發物、皂苷與異黃酮相關苦澀感，以及水解過程中生成的疏水性苦味肽。受控水解可能改善粉感與粗糙感，也可能透過改變蛋白與異味分子的結合行為來影響釋放；2024 年針對 SPI 受控酶水解與異味化合物結合行為的機制研究，即指出水解會改變蛋白與 off-flavor compounds 的相互作用模式 [12]。

這代表風味改善不能簡化為「水解越多，味道越好」。有些水解條件可能降低某些揮發物保留，卻同時產生苦味；有些條件則可能因蛋白片段更能結合疏水性異味分子而改變釋放曲線。實務上，風味、溶解、乳化與營養宣稱需一起考量，尤其在即飲高蛋白飲、植物奶、營養粉與發酵前處理中更為關鍵 [13]。

與多酚、多醣、澱粉及物理處理的組合效應

黃豆蛋白改質越來越少以單一酵素反應來看待，而是放在整體配方網絡中評估。多酚如 EGCG 可與 SPI 發生共價或非共價作用，改變蛋白結構與乳化性；這類研究顯示，蛋白表面疏水性、粒徑與界面行為會因小分子結合而重新分配，進而影響乳化與氧化穩定 [14]。

多醣則常被用來補強酵素改質蛋白的穩定性。SPI 與果膠接枝或複合可改變蛋白 - 多醣界面結構，使乳化液對 pH、離子或熱處理更具抵抗力；若蛋白先經酵素改質，其暴露基團與分子柔軟性改變，也會影響後續與果膠、可溶性大豆多醣或其他膠體的作用方式 [10]。

在澱粉系統中，黃豆蛋白水解物可改變澱粉 - 蛋白界面，進而影響擠壓產品的結構、糊化與老化行為。2024 年關於 SPI 水解物對山藥澱粉擠壓結構與功能性影響的研究，說明蛋白水解物不只是營養補充成分，也可能在熱機械加工中扮演界面調節與結構塑形角色 [2]。

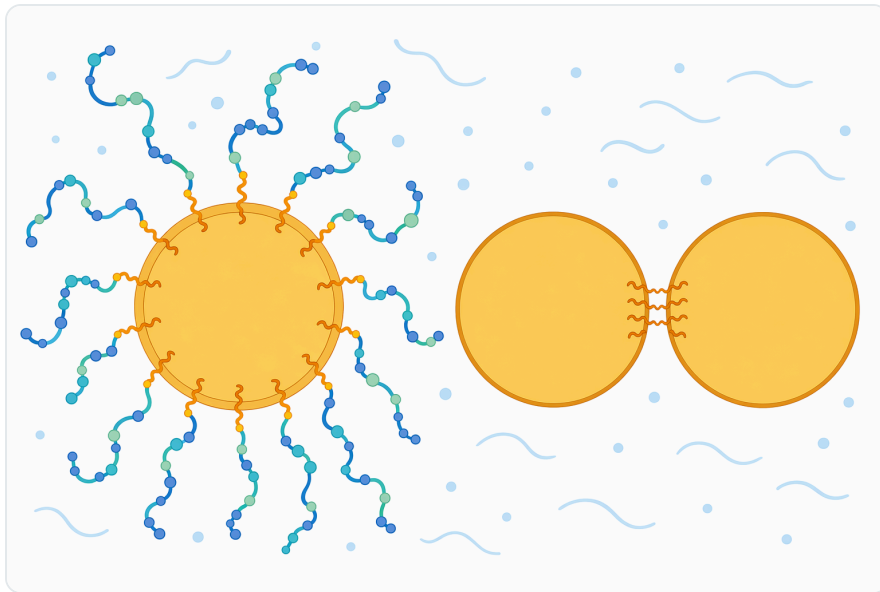


Figure 4. 受控水解可幫助大豆胜肽遷移至油水界面，並形成可穩定乳化液的薄膜。

物理處理與酵素也常具協同效應。超音波可促進蛋白展開、降低聚集並增加酵素可接近性，因此與酵素處理結合時，可能在較短處理時間內改變 SPI 的結構與功能；相關研究指出，超音波結合酵素處理會影響大豆分離蛋白的構象與功能性，反映「先打開結構、再進行選擇性改質」的加工邏輯 [4]。

不同改質路徑的功能比較

改質路徑	主要分子作用	常見功能效果	適合應用	主要限制
受控蛋白水解	切割肽鍵，降低分子量，暴露親水 / 疏水基團	提升分散性、界面吸附、部分改善發泡與乳化	高蛋白飲品、乳化醬、營養粉、擠壓複合配方	過度水解可能產生苦味、降低凝膠與界面膜強度
去醯胺化	將麩醯胺酸殘基轉為帶負電羧基，增加水合與靜電排斥	改善溶解度、熱穩定、乳化分散	植物乳、酸化或中性飲品、低黏度懸浮系統	對質地強化有限，需與其他結構策略搭配
TGase 交聯	形成蛋白分子間共價交聯，建立網絡	增強凝膠、保水、彈性與切片性	植物肉、豆製品、凝膠點心、蛋白纖維	過度交聯可能降低溶解度、造成顆粒或口感過硬
酵素 + 多酚 / 多醣	先改變蛋白結構，再透過複合或接枝補強界面	改善乳化穩定、抗氧化、懸浮與口感	乳化飲品、油脂包埋、植物基醬料	配方相容性受 pH、鹽、熱處理與多醣種類影響

主要產業應用

植物蛋白飲品與即飲營養品

在植物蛋白飲品中，Soy Protein Modification Enzyme 的常見目標是降低沉澱與粉感，改善溶解速度、口感均一性與乳化穩定。對中性飲品而言，改質蛋白可協助提升油脂、香料或脂溶性營養成分的分散；對酸化飲品而言，去醯胺化或有限水解可降低等電點附近聚集風險，但仍需搭配完整的穩定系統設計 [15]。

對高蛋白粉與即飲配方而言，另一個重點是再分散性。粉體經乾燥後，蛋白聚集與表面疏水區暴露可能使復水困難；酵素改質若能降低不可逆聚集或產生較易水合的片段，就有機會改善沖調性。這類應用通常特別關注口感、泡沫、沉降與熱灌裝後穩定性，而非單一溶解指標。

乳化食品、醬料與包埋系統

黃豆蛋白可作為植物性乳化劑，但天然 SPI 在某些條件下吸附速度與界面膜強度不足。受控水解可增加分子柔軟性與兩親性，使其更快覆蓋油滴表面；若再與多酚或多醣搭配，可能同時提升界面膜抗氧化能力與物理穩定性。這對植物基美乃滋、調味醬、咖啡奶精、油脂粉末與香氣包埋系統具有實際意義 [9]。

在包埋應用中，蛋白不只要乳化油相，還要在乾燥、儲存與復水後維持包覆結構。酵素改質過度會讓界面膜變弱，改質不足則吸附效率有限；因此，乳化與包埋產品常需要在「快速吸附」與「膜強度」之間取得平衡，並與壁材、糖類、多醣或澱粉基質一起設計 [16]。

植物肉、豆製品與凝膠型食品

植物肉與凝膠型食品最需要的是可控的咬感、彈性、保水與熱處理後形狀穩定。TGase 交聯可提高蛋白網絡強度，輕度水解則可能改善蛋白展開與其他結構成分的混合均勻性；兩者若與擠壓、加熱、冷卻或鹽類條件配合，可形成從柔軟凝膠到彈性纖維狀組織的不同質地 [7]。



Figure 5. 大豆蛋白改質可應用於飲料、即溶粉、植物肉、醬料、烘焙體系、擠壓食品，以及專門的過敏原降低研究。

黃豆蛋白纖維與再組織化材料的開發也與蛋白改質高度相關。2024 年關於環境友善大豆蛋白纖維的綜述指出，大豆蛋白材料的成形、力學與耐水性取決於分子間作用與加工條件；酵素交聯或預改質可作為改善蛋白材料性能的工具之一，但需與紡絲、凝固或後處理條件共同評估 [7]。

擠壓食品與澱粉 - 蛋白複合產品

在擠壓食品中，蛋白會與澱粉、多醣、油脂及水分共同承受高溫、高剪切與壓力。SPI 水解物對山藥澱粉擠壓性質的研究顯示，蛋白水解物可改變澱粉顆粒與連續相的交互作用，進而影響產品結構與功能；這對高蛋白穀物脆片、營養棒、即食粉與植物肉前驅物都有參考價值 [2]。

高直鏈澱粉研究也提醒，蛋白 - 澱粉界面會影響澱粉老化與質地變化。當黃豆蛋白先經酵素改質，其分子尺寸與表面性質改變，可能改變與澱粉鏈、脂質或纖維的相容性；因此，在擠壓產品中使用 Soy Protein Modification Enzyme，通常是為了調整整體結構，而不只是改善蛋白本身 [3]。

發酵與功能性食品基材

黃豆發酵食品如天貝展示了微生物與酵素對黃豆基質的深度改變：蛋白被部分分解，抗營養因子與風味輪廓改變，並生成多種具生理相關性的胜肽與代謝物。雖然工業酵素改質不等同於完整發酵，但兩者都說明「蛋白結構轉化」會影響消化性、風味與功能性食品定位 [13]。

在功能性蛋白水解物中，酵素處理也常被用來釋放具抗氧化、血壓調節或代謝相關活性的胜肽。玉米麩質與黃豆蛋白混合水解物的研究顯示，酵素處理與分級可同時影響生物活性、乳化穩定與發泡性，說明功能性與加工性有時可透過同一水解策略共同設計，但仍需依最終食品法規與宣稱要求審慎判讀 [8]。

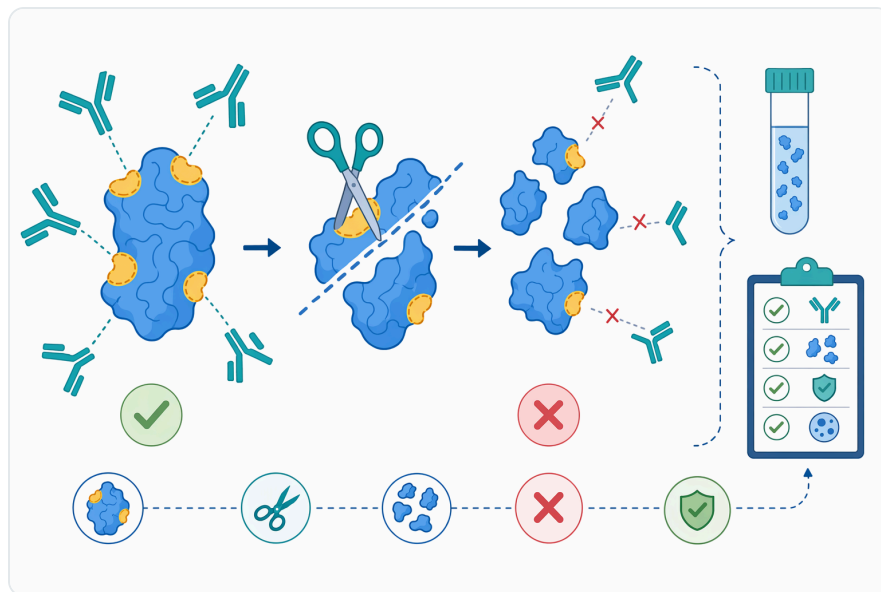


Figure 6. 酵素降解可能破壞大豆蛋白中的致敏表位，但與過敏原相關的產品宣稱需依具體產品進行驗證。

證據強度與邊界

目前較有一致性的結論是：酵素處理確實能改變黃豆蛋白的結構與功能，包括分子量分布、表面疏水性、電荷、聚集狀態、乳化行為與凝膠性。這些變化已在水解、交聯、超音波結合酵素、多酚共改質與澱粉-蛋白複合系統中反覆被觀察，因此「酵素可作為黃豆蛋白功能改質工具」屬於相對穩健的技術判斷 [4]。

證據較需保留的部分，是把特定文獻結果直接外推到所有商業配方。例如，某研究中的 SPI 來源、蛋白純度、前處理、pH、鹽度、熱歷史與乾燥方式，可能與企業實際使用的原料不同；即使同樣標示為大豆分離蛋白，批次差異與加工史也會使酵素反應性不同。換言之，文獻可提供機制與方向，但最終產品表現仍由配方系統決定 [12]。

關於致敏性與消化性，也需要避免過度宣稱。酵素水解或交聯可能改變過敏原表位暴露、蛋白消化速率與免疫辨識，但「降低某些表位反應」不等於臨床上可宣稱低過敏或安全。TGase 交聯雙蛋白系統的研究顯示，構象與致敏相關性可被酵素改變，這支持機制層面的討論，但不應被解讀為一般化健康或醫療承諾 [6]。

製程整合的實務觀點

在工業流程中，Soy Protein Modification Enzyme 通常被放在蛋白分散、預水合、乳化前處理、擠壓前調質或凝膠成形前的某一階段。其作用需要水分、適當的蛋白可接近性，以及能讓酵素發揮催化作用的加工環境；完成目標改質後，流程通常會透過後續熱處理或配方條件變化使反應停止，以避免產品在儲存或後段加工中繼續改變 [1]。

與熱處理結合時，順序會影響結果。先溫和加熱可能使蛋白部分展開，增加酵素可接近性；但過度加熱也可能造成不可逆聚集，反而降低酵素作用效率。與超音波、均質或剪切結合時，物理作用可降低聚集體尺寸、增加表面積，讓酵素更容易接觸可切割或可修飾位點 [4]。

配方中若存在鹽、糖、多醣、油脂、多酚或鈣鎂離子，酵素改質結果也會改變。多醣可能穩定蛋白分散，也可能因電荷相互作用造成複合凝聚；多酚可能提升抗氧化與界面穩定，也可能改變顏色、澀感或蛋白聚集。這些交互作用使酵素改質必須在最終配方中評估，而不是只看單一蛋白溶液中的表現 [10]。

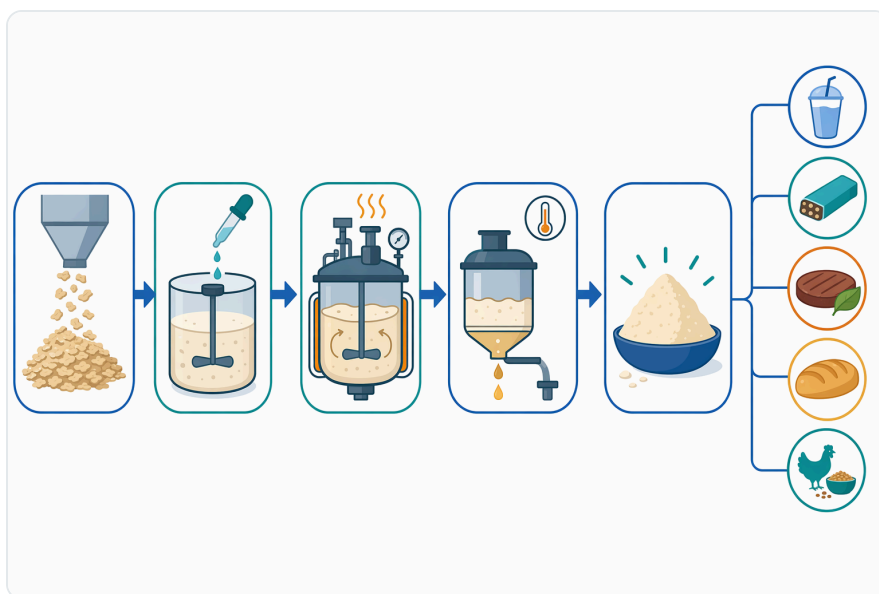


Figure 7. 典型的大豆蛋白改質流程包括水合、受控酵素反應、處理程度監測，以及後續的穩定化或配方調整。

使用風險與品質注意事項

主要風險之一是過度水解。過度水解可能造成苦味、黏度下降、凝膠失敗、乳化膜變弱或熱穩定性降低；在高蛋白飲品中，也可能出現口感變薄、後味增加或香氣釋放異常。相反地，水解不足則可能無法改善沉澱或界面活性，導致成本增加但功能提升有限 [12]。

另一個風險是交聯或聚集過度。若目標是凝膠與植物肉，適度交聯有助於質地；但若用於飲品或低黏度乳化液，過強的蛋白網絡可能形成顆粒、絮凝或不可逆沉澱。特別是在含鈣、酸化或高鹽環境中，改質蛋白的電荷屏蔽與聚集傾向需納入配方判斷 [5]。

食品應用也需依目標市場確認酵素作為加工助劑或食品用酵素的合規狀態，並依企業內部品質系統管理批次、標示與文件。Enzymes.bio 作為供應商，出貨時隨訂單提供 CoA 與 SDS；這些文件可協助買方進行收料、危害溝通與內部合規留存，但最終產品的法規適用性與宣稱仍需由品牌或製造端依市場要求判定。

結論：把黃豆蛋白從「營養原料」變成「可設計材料」

Soy Protein Modification Enzyme 的核心用途，是將黃豆蛋白從單純的蛋白來源轉化為可被設計的功能性材料。透過受控水解、去醯胺化、交聯，或與多酚、多醣、澱粉及物理處理結合，黃豆蛋白可在溶解、乳化、發泡、凝膠、保水、風味與擠壓結構上展現不同功能，服務於植物蛋白飲品、乳化食品、素肉、豆製品、營養粉與複合加工食品等應用 [8]。

對研發與採購團隊而言，最務實的理解是：酵素不是單一效果的添加物，而是蛋白結構調節工具。它的價值取決於目標配方中最需要改善的是分散、界面、質地還是風味；也取決於是否能在實際製程中穩定控制反應並停止於合適階段。Enzymes.bio 以 1 kg 線上銷售形式供應此產品，並隨訂單提供 CoA 與 SDS，適合需要以明確包裝單位導入配方開發或中小批量應用的 B2B 使用情境。

線上訂購 Soy Protein Modification Enzyme

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 Soy Protein Modification Enzyme →](#)

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. Surówka, K., & Żmudziński, D. (2018). Functional properties modification of extruded soy protein concentrate using neutrase. *Czech Journal of Food Sciences*, 22, 163-174.
2. Shi, M., Chen, S., Liu, Z., Ji, X., & Yan, Y. (2024). Effects of soy protein isolate hydrolysate on the structural and functional properties of yam starch during extrusion. *International Journal of Biological Macromolecules*, 138551 .
3. Zhang, W., Li, X., Gu, B., Li, X., Liu, S., Fan, X., Wang, T., ... et al. (2025). High-amylose starch with uniquely low retrogradation: The key role of altered protein-starch interface. *Carbohydrate Polymers*, 373, 124605 .
4. Guo, W., Xu, Y., Yan-Ma, Chen, Z., & Wu, Y. (2026). Effects of Ultrasonication Combined with Enzymatic Treatment on the Structure and Function of Soy Protein Isolate. *Foods*, 15 4.
5. Ashaolu, T. J. (2026). Crosslinking Soy Protein: Mechanisms, Functional Modification, Applications in Food, and Future Directions. *Journal of texture studies*, 57.
6. Xing, G., Liu, J., Tang, R., & Hui, T. (2025). Dual-protein system composed of soy protein and β -lactoglobulin: effect of transglutaminase-mediated crosslinking on its allergenicity and conformation. *The Journal of the Science of Food and Agriculture*.
7. Tahir, M., Li, A., Moore, M., Ford, E., Theyson, T., & Seyam, A. (2024). Development of Eco-Friendly Soy Protein Fiber: A Comprehensive Critical Review and Prospects. *Fibers*.
8. Mirzaee, H., Gavlighi, H. A., Nikoo, M., Udenigwe, C. C., Rezvankhah, A., & Khodaiyan, F. (2024). Improved Antioxidant, Antihypertensive, and Antidiabetic Activities and Tailored Emulsion Stability and Foaming Properties of Mixture of Corn Gluten and Soy Protein Hydrolysates Via Enzymatic Processing and Fractionation. *Food Science & Nutrition*, 12, 9749 - 9763.
9. Lian, Z., Su, R., Zhang, Q., Tang, Y., Yang, S., Liu, X., Cheng, L., ... et al. (2025). Dual modification of soy protein isolate by phlorotannins and enzymatic hydrolysis: Stability and digestive properties. *Food Hydrocolloids*.
10. Ma, X., Chi, C., Pu, Y., Miao, S., & Liu, D. (2022). Conjugation of soy protein isolate (SPI) with pectin: effects of structural modification of the grafting polysaccharide. *Food Chemistry*, 387, 132876 .
11. Zhao, J., Sun, F., Li, Y., Liu, Q., & Kong, B. (2017). Modification of gel properties of soy protein isolate by freeze-thaw cycles are associated with changes of molecular force involved in the gelation. *Process Biochemistry*, 52, 200-208.
12. Li, X., Zhang, W., Yu, M., Tan, H., Zeng, X., Xi, Y., Li, H., ... et al. (2024). Mechanistic insights into the effects of controlled enzymatic hydrolysis on the binding behaviors between soy protein isolate and off-flavor compounds. *Food Chemistry*, 467, 142271 .
13. Rizzo, G. (2024). Soy-Based Tempeh as a Functional Food: Evidence for Human Health and Future Perspective. *Frontiers in Bioscience*, 16 1, 3 .
14. Tao, F., Jiang, H., Chen, W., Zhang, Y., Pan, J., Jiang, J., & Jia, Z. (2018). Covalent modification of soy protein isolate by (-)-epigallocatechin-3-gallate: effects on structural and emulsifying properties. *The Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98 15, 5683-5689 .

15. Bailón-Uriza, R., Ayala-Méndez, J., Celis-gonzalez, C., Chávez-Brambila, J., Marín, I. H., Dios Maldonado-Alvarado, J., Montoya-Cossío, J., ... et al. (2023). [Soy beverages and women's health: evidence review and experts opinion]. *Nutrición Hospitalaria*.
16. Xue, F., Zhao, X., Li, C., & Adhikari, B. (2025). Modification of plum seed protein isolate via enzymatic hydrolysis, polyphenol conjugation and polysaccharide complexation to enhance emulsification and encapsulation of essential oils. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141812 .

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。