

# Transglutaminase (轉谷氨酰胺酶, TG / MTG) : 蛋白質交聯酵素在肉製品、乳製品、植物蛋白與生物材料的主要應用

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

Transglutaminase (transglutaminase 中文常譯為「轉谷氨酰胺酶」) 是一類能讓蛋白質彼此形成穩定共價交聯的酵素；食品工業常見的是 microbial transglutaminase (微生物轉谷氨酰胺酶, MTG)。其核心價值在於改善蛋白質配方的凝膠性、黏合性、保水性與質地，因此常被討論於 transglutaminase meat、乳製品、魚漿、植物蛋白與蛋白質基材加工。

簡要說，transglutaminase 作用原理及在食品加工上的應用，是透過催化蛋白質中谷氨酰胺與賴氨酸殘基形成  $\epsilon$ -( $\gamma$ -glutamyl)-lysine 異肽鍵，使鬆散蛋白網絡轉變為更穩定的結構；但實際效果仍取決於蛋白來源、配方環境與製程控制<sup>[1]</sup>。

## 什麼是 Transglutaminase ? 從食品用 MTG 到人體組織型 TG 的區分

Transglutaminase 是一個酵素家族，而不是單一用途的添加物名稱。廣義上，TG 可催化蛋白質或肽鏈中的谷氨酰胺殘基與一級胺反應；當受體是賴氨酸側鏈時，會形成蛋白質間或蛋白質內的異肽鍵，進而改變蛋白質的聚集、凝膠、乳化與機械性質<sup>[2]</sup>。在食品與材料加工語境中，最常見的是 microbial transglutaminase；它與人體內的 tissue transglutaminase、transglutaminase 1、transglutaminase 2、transglutaminase 6 等概念需要清楚分開。

在搜尋「transglutaminase iga」、「tissue transglutaminase iga」或「anti tissue transglutaminase antibodies」時，通常指向醫學診斷或免疫學領域，尤其與人體 tissue transglutaminase (常見研究對象為 TG2) 相關；這與食品加工用 microbial transglutaminase 的商業用途並不同。TG2 也稱 transglutaminase 2，研究文獻常討論其在細胞外基質、蛋白交聯、神經退化或疾病機制中的角色<sup>[3]</sup>。因此，在技術文件中使用「transglutaminase」時，應先確認上下文：食品加工多半談 MTG，生醫或免疫檢測則多半談人體組織型 TG。

同樣地，「transglutaminase skin」可能對應兩種不同語境：一是皮膚角質層與人體 transglutaminase 1 等酵素在屏障形成中的生物功能；二是消費者或研發端關心蛋白質交聯技術是否可用於膠原蛋白、明膠、敷料或生物材料。本文聚焦 Enzymes.bio 供應之 transglutaminase 作為

B2B 技術資訊，重點放在食品與蛋白質基材加工，而非醫療診斷、藥品或人體治療用途。

## Transglutaminase 作用原理：為什麼它能改變質地與結構？

Transglutaminase 的主要反應可理解為「把蛋白質鏈上的可反應點接起來」。酵素先辨識蛋白質中可作為醯基供體的谷氨醯胺殘基，形成酵素—醯基中間體；接著由賴胺酸  $\epsilon$ -胺基或其他一級胺進行親核攻擊，產生穩定的異肽鍵或胺化修飾。這種交聯不同於單純增稠，因為它會在分子層級形成共價連結，使蛋白質網絡更難被稀釋、剪切或加熱完全打散<sup>[4]</sup>。

在食品配方中，這種反應會反映為幾個可觀察的功能變化：蛋白顆粒之間更容易形成連續網絡，凝膠的彈性與切片完整度可能提升；蛋白網絡也可能包埋水分、脂肪或風味成分，降低離水或結構崩解。以蛋白乳化凝膠為例，近年研究顯示，TG 交聯可影響卵白蛋白與油相構成的乳化凝膠微結構，並進一步影響氧化穩定與儲存表現<sup>[5]</sup>。

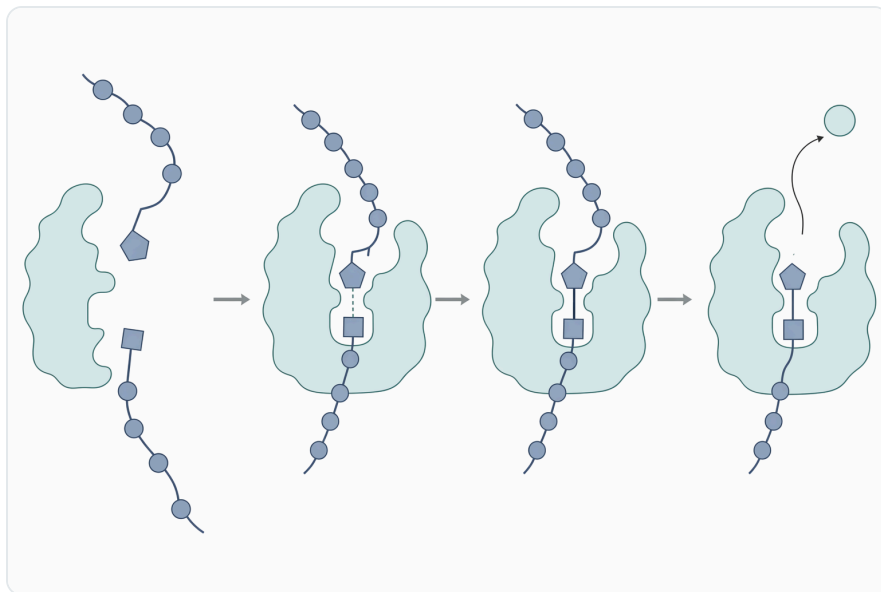


Figure 1. 轉麩醯胺酶會催化蛋白質結合的麩醯胺殘基與胺供體（如離胺酸殘基）之間形成共價交聯。

TG 的效果不是只由「有沒有加酵素」決定。蛋白質是否展開、谷氨醯胺與賴胺酸殘基是否暴露、配方中的鹽、糖、脂肪、多酚、多醣與 pH 變化，都會影響酵素與底物的接觸。分子模擬研究也顯示，外部處理條件可能改變 transglutaminase 與底物之間的結合方式，進而影響反應可及性與交聯效率<sup>[6]</sup>。

## Microbial Transglutaminase 與 Tissue Transglutaminase 的實務比較

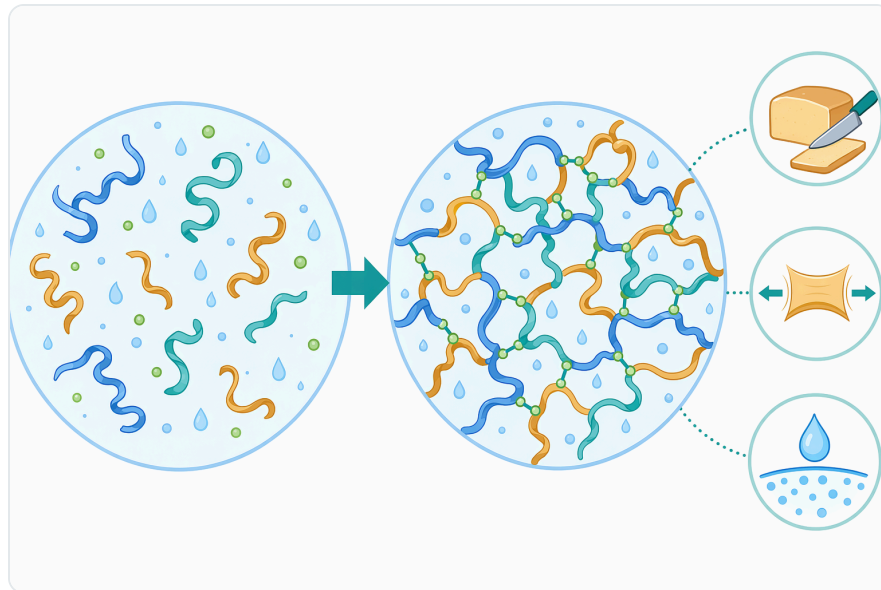
以下比較有助於避免把食品加工用 MTG 與醫學研究中的 tissue transglutaminase 混用。這也說明為什麼搜尋「transglutaminase 中文」時，最好同時看清楚應用領域，而不是只看中文譯名。

名稱 / 常見縮寫	主要語境	典型功能焦點	與食品加工的關係	注意事項
Microbial transglutaminase ( MTG )	食品加工、蛋白改性、材料研究	催化食品蛋白交聯，改善凝膠、黏合、保水與質地	肉製品、魚漿、乳製品、植物蛋白與蛋白基乳化系統常見	效果高度依賴配方與製程條件 <sup>[7]</sup>
Tissue transglutaminase / Transglutaminase 2 ( TG2 )	人體組織、生醫、疾病機制	細胞外基質交聯、細胞訊號、疾病相關蛋白變化	不是一般食品加工用酵素的同義詞	「tissue transglutaminase iga」與「anti tissue transglutaminase antibodies」多屬醫學檢測語境 <sup>[3]</sup>
Transglutaminase 1	皮膚與角質層生物學	參與表皮屏障相關蛋白交聯	不屬於本文食品加工主題	搜尋「transglutaminase skin」時常會遇到此類內容
Transglutaminase 6	神經與免疫相關研究	與特定生物醫學研究議題相關	不屬於食品用 MTG 的直接替代概念	不應與食品配方用 TG 混稱

## 在食品加工中的主要價值：不是「黏起來」而已

大眾常把 transglutaminase meat 簡化成「把肉黏起來」，但在 B2B 食品研發上，它的價值更廣：它能改變蛋白質網絡的形成方式，使配方在成型、切片、加熱、冷藏、解凍或咀嚼時呈現不同機械表現。對肉製品、重組肉、魚漿、低脂肉類製品與即食加工品而言，這種交聯可改善結構連續性，降低切面破碎與組織鬆散的問題<sup>[7]</sup>。

在肉類與魚類系統中，TG 常被用來提升肌原纖維蛋白之間的交聯，讓碎肉、修整肉或魚漿原料形成更完整的蛋白網絡。這不僅影響外觀，也影響口感的彈性、咀嚼感與加工容忍度。文獻對 MTG 的產業應用回顧指出，食品工業採用 TG 的核心原因包括改善肉製品質地、提升成型穩定性與促進蛋白質原料利用<sup>[1]</sup>。



**Figure 2.** 蛋白質交聯會將鬆散的蛋白質聚集體轉化為更具凝聚性的食品基質，並呈現不同的物理特性。

然而，transglutaminase 不是萬能結構劑。若蛋白含量不足、可反應殘基被脂肪或澱粉相隔離、或製程中未給予足夠的接觸與反應時間，交聯效果可能不明顯；相反地，若交聯過度，成品可能變硬、彈性失衡或失去目標口感。這也是為什麼 TG 應被視為「結構設計工具」，而不是單純添加後即可保證效果的萬用配料<sup>[8]</sup>。

## 乳製品與起司：凝膠、離水與感官的平衡

在乳製品中，transglutaminase 主要作用於酪蛋白與乳清蛋白系統，透過交聯影響凝膠網絡、保水性與口感。以起司或發酵乳為例，蛋白質網絡的細緻程度會影響切面、彈性、離水與口腔感受；TG 的導入目的通常是強化結構或改善低脂、低固形物配方的質地不足<sup>[9]</sup>。

Hatay cheese 研究指出，使用 microbial transglutaminase 會影響起司的感官特性，顯示 TG 不只是改變物理參數，也可能改變消費者感受到的硬度、黏彈性與整體接受度<sup>[9]</sup>。對乳品研發而言，關鍵不在於追求最大交聯，而是讓蛋白網絡與脂肪、水分、酸化條件及熟成特性達到平衡。

在含多酚或植物萃取物的乳蛋白配方中，TG 交聯與非共價作用可能同時存在。研究顯示，酪蛋白與多酚之間的相互作用會受到不同酵素交聯方式影響，這意味著若配方含茶多酚、果汁濃縮物、植物萃取或功能性成分，TG 對質地與穩定性的影響可能與單純乳蛋白系統不同<sup>[10]</sup>。

## 植物蛋白與替代蛋白：讓豌豆、大豆、羽扇豆等蛋白更有結構

植物性蛋白產品常面臨共同挑戰：口感粉感、凝膠弱、保水不足、加熱後結構鬆散，或難以模擬肉類纖維感。Transglutaminase 可作為植物蛋白結構化策略的一部分，透過交聯豌豆蛋白、大豆分離蛋白、羽扇豆粉等基材，提升凝膠或複合網絡的穩定性<sup>[11]</sup>。

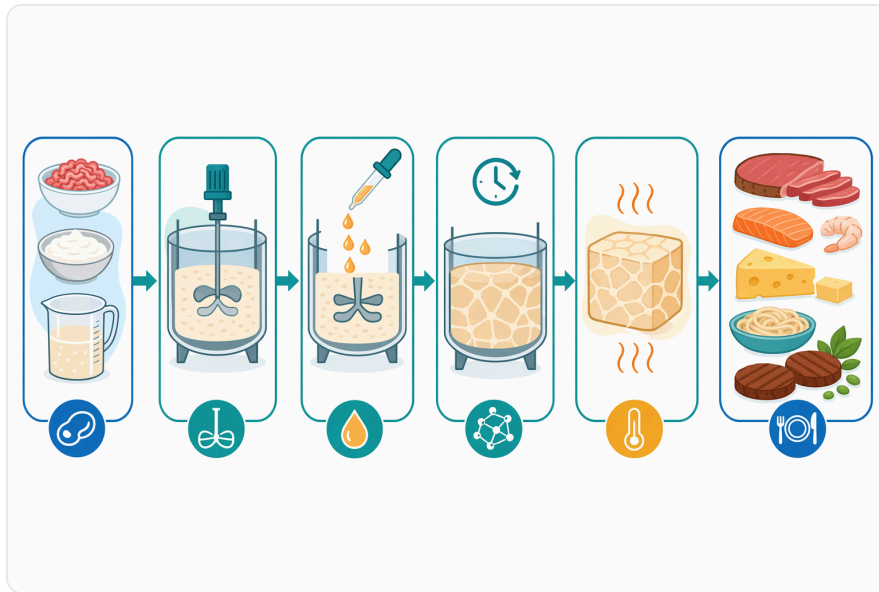


Figure 3. 肉類黏合需要暴露的瘦肉蛋白表面、酶的均勻分布、緊密接觸、足夠的反應時間，以及符合產品需求的後續處理或烹調。

近年研究顯示，MTG 與多醣可形成協同效果。例如豌豆蛋白分離物搭配蘋果果膠時，microbial transglutaminase 可改善凝膠性質，並被研究用於益生菌包埋系統，說明 TG 不只影響宏觀口感，也可調整微結構對水分與活性成分的包覆能力<sup>[12]</sup>。這對植物基肉類、植物蛋白點心、發酵植物乳與高蛋白食品都有研發意義。

但植物蛋白比動物肌肉蛋白更受原料來源、前處理與萃取條件影響。蛋白溶解度、變性程度、顆粒大小、抗營養因子殘留與非蛋白成分都可能影響 TG 的可及性。因此在植物基配方中，TG 通常需要與水化、剪切、加熱、鹽類、多醣或脂肪相設計一起考量，而不是孤立評估<sup>[11]</sup>。

## 乳化凝膠、脂肪替代與高內相乳液：從質地到氧化穩定

Transglutaminase 在乳化系統中的作用尤其值得注意。蛋白質不只提供營養，也可作為界面穩定劑；當 TG 讓界面蛋白或連續相蛋白交聯時，乳滴周圍的保護層與整體凝膠網絡可能更穩定。卵白蛋白與亞麻籽油乳化凝膠研究顯示，TG 交聯會改變微結構與氧化穩定表現，這對富含不飽和脂肪酸的產品很有意義<sup>[5]</sup>。

高內相乳液 ( HIPE ) 也是一個研究熱點。以蛋白奈米顆粒穩定的高內相乳液中，TG 可透過交聯蛋白質來改變乳液結構，使高油相體系更具固態或半固態特徵；卵白蛋白分離物相關研究指出，不同 TG 條件會影響高內相乳液的形成機制與穩定性<sup>[13]</sup>。這類技術可延伸至塗抹醬、低飽和脂肪產品、植物基脂肪模擬物或油脂遞送系統。

在脂肪替代方面，TG 常與 pH shifting、蛋白變性或多相結構設計結合。研究指出，transglutaminase 處理與 pH 轉換可用於操控立方狀脂肪替代物的物化性質與形成機制，顯示 TG 在低脂或脂肪改良食品中可扮演結構控制角色<sup>[14]</sup>。

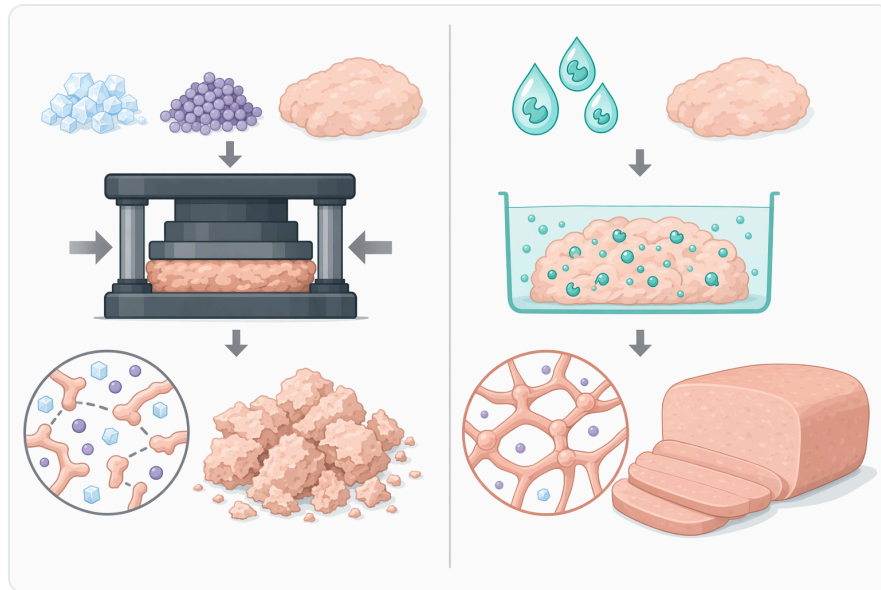


Figure 4. 在乳製品系統中，轉麩醯胺酶改變的是蛋白質網絡的連結性，而不是作為可見的表面黏著劑。

## 生物材料、明膠與 3D 列印：食品之外的蛋白交聯用途

TG 的蛋白交聯能力也被研究於明膠、生物墨水、自組裝胜肽與組織工程材料。以明膠微凝膠—明膠溶液複合生物墨水為例，TG 交聯會影響材料的可列印性與成型後結構，顯示其可用於調控蛋白墨水凝膠的流變與機械表現<sup>[15]</sup>。這些研究屬於材料與生醫研發範圍，不應直接等同於食品配方用途。

自組裝胜肽材料也曾利用原位 transglutaminase 交聯來提升機械性質。相關研究指出，TG 可在溫和條件下強化胜肽網絡，使材料更適合特定生物醫學應用的力學需求<sup>[16]</sup>。不過，此類用途涉及更高層級的安全、法規與用途限制，本文僅作技術背景說明。

在紡織、羊毛與皮革加工中，TG 也曾被討論用於蛋白纖維改性。由於羊毛、皮革與膠原蛋白材料本質上含有大量蛋白質，酵素交聯可成為改善纖維表面、手感或物理性質的生物加工方法之一<sup>[17]</sup>。這代表 transglutaminase 的核心能力並不限於食品，而是凡涉及蛋白質網絡設計的場域都有潛在研究價值。

## Transglutaminase E Number、標示與合規：為什麼不能只看一個答案？

許多人搜尋「transglutaminase e number」，是想確認它在特定市場中是否有固定添加物編碼或標示方式。實務上，酵素在不同地區可能依食品酵素、加工助劑、添加物或其他分類管理；是否需要標示、如何標示、是否有特定使用限制，取決於目的市場與產品類別。文獻回顧普遍指出 MTG 已在食品工業廣泛使用，但具體法規判定仍需依地區規範與產品情境處理<sup>[7]</sup>。

對品牌與研發單位而言，合規重點不只是「能不能用」，也包括配方目的、殘留活性、製程終止、成品標示、過敏原管理與消費者溝通。特別是 transglutaminase meat 相關產品，部分市場對重組肉、黏合肉或成型肉的標示有額外要求；這不必然否定 TG 的技術價值，但代表商業化前需要把產品定位與標示策略納入開發流程<sup>[1]</sup>。

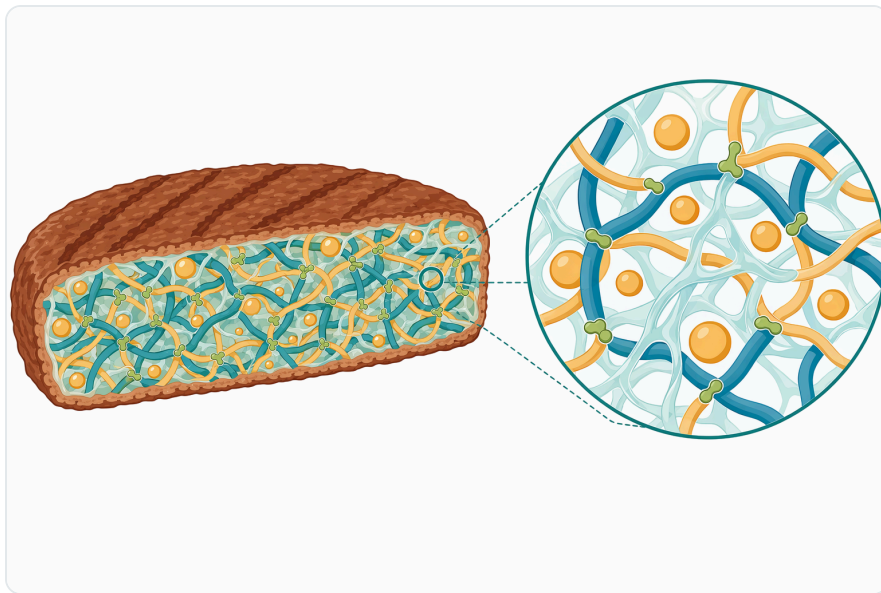


Figure 5. 植物性肉類替代品可結合酶促蛋白質交聯與其他結構化系統，以建立咬感並維持形狀。

### 使用情境中的關鍵控制：底物、時間、熱處理與配方相容性

在實際加工中，TG 的結果通常由四個因素共同決定：蛋白底物、混合接觸、反應時間與終止方式。蛋白底物決定可反應殘基與結構可及性；混合接觸決定酵素是否能均勻分散到目標蛋白相；反應時間決定交聯程度；終止方式則決定最終結構是否被固定。研究於豬血漿蛋白冷凝膠中顯示，酸化形成的聚集體會影響 microbial transglutaminase 催化，說明前段蛋白狀態對後續交聯結果非常關鍵<sup>[8]</sup>。

過度交聯是實務上常被忽略的風險。當蛋白網絡太緊密，產品可能出現咀嚼過硬、脆裂、保水反而下降或乳化相分離等問題。相反地，交聯不足則可能無法改善切片、凝膠或離水。因此，TG 的設計目標不是把所有可反應蛋白盡量交聯，而是讓交聯程度與產品定位一致<sup>[2]</sup>。

配方中的非蛋白成分也會改變結果。多醣可能與蛋白形成複合網絡，脂肪與乳化劑會影響界面蛋白排列，多酚可能與蛋白產生非共價作用，鹽類則可能改變蛋白溶解與展開狀態。這些因素使得 transglutaminase 作用不能只用單一機制解釋，而必須放入完整食品矩陣中理解<sup>[10]</sup>。

## 典型應用與可期待效益比較

以下表格整理常見應用方向，協助研發、產品管理與製程團隊判斷 TG 可能帶來的技術效益。此表為應用邏輯比較，不代表所有配方都會得到相同結果。

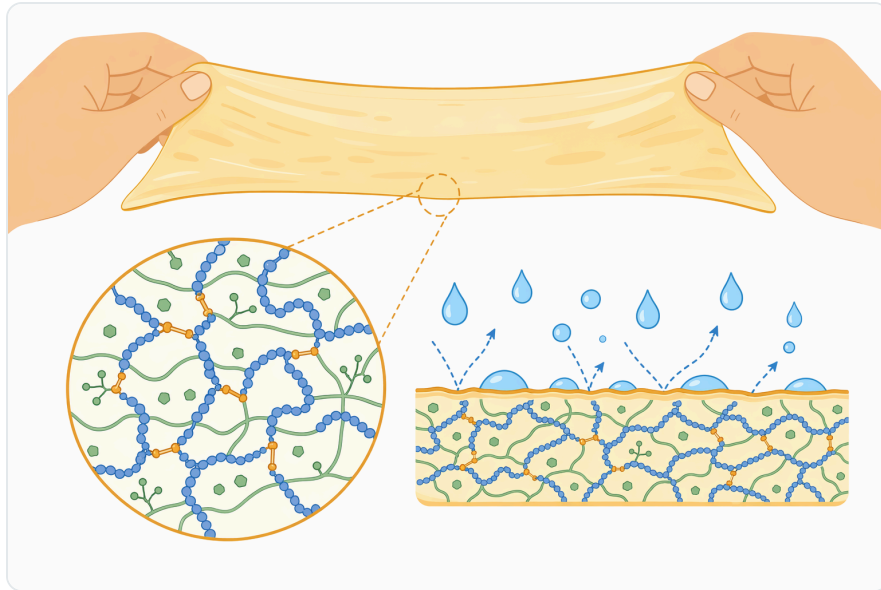


Figure 6. 交聯可使蛋白質基可食性薄膜連結更緊密、機械強度更高，且較不易受到快速水分干擾的影響。

應用領域	主要蛋白基材	常見開發目標	可能改善的品質屬性	需要注意的限制
肉製品與重組肉	肌原纖維蛋白、肉塊或碎肉蛋白	黏合、成型、切片完整	結構連續性、彈性、保水	標示與產品定位需符合市場規範 <sup>[7]</sup>
魚漿與水產加工	魚肉蛋白、魚漿蛋白	彈性、凝膠強度、加工穩定	咀嚼感、成型穩定、切面完整	原料鮮度與鹽溶蛋白狀態影響大
乳製品與起司	酪蛋白、乳清蛋白	降低離水、改善凝膠	口感、稠度、熟成結構	酸化、熱處理與脂肪含量需協調 <sup>[9]</sup>
植物蛋白食品	大豆、豌豆、羽扇豆等	改善凝膠與肉感結構	彈性、保水、切片與咀嚼	原料差異與前處理影響明顯 <sup>[11]</sup>

應用領域	主要蛋白基材	常見開發目標	可能改善的品質屬性	需要注意的限制
乳化凝膠與脂肪替代	卵白、乳蛋白、植物蛋白	穩定油相、降低飽和脂肪	乳化穩定、塗抹性、氧化穩定	高油相體系需平衡界面與連續相 <sup>[13]</sup>
生物材料與蛋白水凝膠	明膠、胜肽、膠原相關材料	增強機械性、控制流變	成型性、彈性、網絡穩定	屬材料或生醫研發，不同食品用途 <sup>[16]</sup>

## Enzymes.bio 供應資訊與文件定位

Enzymes.bio 提供 transglutaminase 作為 B2B 使用者可直接線上購買的酵素產品，產品以 1 kg 單位銷售；CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供。本文定位為技術教育文件，協助研發、應用工程、產品管理與品質相關人員理解 transglutaminase 的作用機制、應用邏輯與限制，而不是製造商製程說明或實驗室檢驗指南。

在導入 transglutaminase 時，企業通常會把它視為蛋白質結構設計的一環，與原料選擇、混合、熟成、加熱、冷卻、包裝與保存條件共同評估。由於文獻顯示 MTG 在食品工業、蛋白乳化系統與植物蛋白改性中已有廣泛研究基礎，最合理的使用方式是將其放入實際配方矩陣中驗證質地、穩定性與感官表現，而不是單看酵素本身的通用描述<sup>[18]</sup>。

## 結語：Transglutaminase 是蛋白質結構工程工具

Transglutaminase 的技術核心，是透過酵素催化形成穩定的蛋白質交聯，進而改變食品或蛋白基材料的微結構與宏觀質地。對肉製品、乳製品、植物蛋白、乳化凝膠與蛋白水凝膠而言，它可協助改善黏合、凝膠、保水、切片與結構穩定等實務問題；但其效果始終取決於底物可及性、配方組成與製程控制<sup>[1]</sup>。

若以搜尋語境來總結：transglutaminase 中文是轉谷氨酰胺酶；transglutaminase 作用是蛋白質交聯；microbial transglutaminase 是食品與材料加工中最常見的應用型態；而 tissue transglutaminase、transglutaminase 2、transglutaminase iga 與 anti tissue transglutaminase antibodies 則屬於不同的生醫與免疫學脈絡。把這些概念分清楚，才能正確評估 TG 在產品開發中的價值與限制。

## 線上訂購 Transglutaminase

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 Transglutaminase →](#)

## 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. Kieliszek, M. (2026). Microbial transglutaminase in food biotechnology: from biochemical mechanisms to industrial applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 110.
2. Wang, H., Zhang, Y., Yuan, Z., Zou, X., Ji, Y., Hou, J., Zhang, J., ... et al. (2022). Crosslinking Mechanism on a Novel Bacillus cereus Transglutaminase-Mediated Conjugation of Food Proteins. *Foods*, 11.
3. Citron, B., Suo, Z., Santacruz, K., Davies, P., & Festoff, B. (2002). Protein crosslinking, tissue transglutaminase, alternative splicing and neurodegeneration. *Neurochemistry International*, 40 1, 69-78 .
4. Willis, W. L., Foster, A., Henry, C., Wu, L., & Jarjour, W. (2020). In vitro Crosslinking Reactions and Substrate Incorporation Assays for The Identification of Transglutaminase-2 Protein Substrates. *Bio-protocol*, 10 12, e3657 .
5. Tian, Y., Wang, S., Lv, J., Ma, M., Jin, Y., & Fu, X. (2024). Transglutaminase cross-linking ovalbumin-flaxseed oil emulsion gels: Properties, microstructure, and performance in oxidative stability. *Food Chemistry*, 448, 138988 .
6. Tao, Y., Xu, J., Zhang, N., Jiao, X., Yan, B., Zhao, J., Zhang, H., ... et al. (2024). Unraveling the binding mechanisms of transglutaminase and substrate subjected to microwaves: Molecular docking and molecular dynamic simulations. *Food Chemistry*, 443, 138568 .
7. Muhammad, A. S., Abdulqader, A., Al-Ansi, W., Sajid, B., Al-Jaberi, H., Ejaz, S., Habimana, ... et al. (2021). Current industrial applications of microbial transglutaminase: A review. *International Journal of Advanced engineering Management and Science*.
8. Zhang, Y., Jiang-Yuan, Fan, C., Yan, P., & Kang, X. (2021). Fabrication and characteristics of porcine plasma protein cold-set gel: Influence of the aggregates produced by glucono- $\delta$ -lactone acidification on microbial transglutaminase catalysis. *Food Hydrocolloids*.
9. Güzeler, N., Mert, H., & Özbek, Ç. (2020). The Effects of Microbial Transglutaminase (MTG) Enzyme Usage on Sensory Properties of Hatay Cheese.
10. Zhang, Y., Zhang, N., & Zhao, X. (2021). The non-covalent interaction between two polyphenols and caseinate as affected by two types of enzymatic protein crosslinking. *Food Chemistry*, 364, 130375 .

11. Santoso, T., Al-Shaikhli, Y., Ho, T. M., Rajapakse, M., & Le, T. T. (2025). Optimising Enzymatic Cross-Linking: Impact on Physicochemical and Functional Properties of Lupin Flour and Soy Protein Isolate. *Foods*, 14.
12. Wang, K., Sun, H., Cui, Z., Wang, J., Hou, J., Lu, F., & Liu, Y. (2023). Synergistic effects of microbial transglutaminase and apple pectin on the gelation properties of pea protein isolate and its application to probiotic encapsulation. *Food Chemistry*, 439, 138232 .
13. Zhao, Y., Wang, P., Xu, Y., Zeng, X., & Xu, X. (2022). A Study on the Mechanisms of Nanoparticle-Stabilized High Internal Phase Emulsions Constructed by Cross-Linking Egg White Protein Isolate with Different Transglutaminase Concentrations. *Foods*, 11.
14. Huang, L., Zhao, D., Wang, Y., Li, H., Zhou, H., & Liu, X. (2022). Transglutaminase treatment and pH shifting to manipulate physicochemical properties and formation mechanism of cubic fat substitutes. *Food chemistry: X*, 16.
15. Song, K., Ren, B., Zhai, Y., Chai, W., & Huang, Y. (2021). Effects of transglutaminase cross-linking process on printability of gelatin microgel-gelatin solution composite bioink. *Biofabrication*, 14.
16. Ciulla, M. G., Marchini, A., Gazzola, J., Forouharshad, M., Pugliese, R., & Gelain, F. (2024). In Situ Transglutaminase Cross-Linking Improves Mechanical Properties of Self-Assembling Peptides for Biomedical Applications. *ACS Applied Bio Materials*.
17. Tesfaw, A., & Assefa, F. (2014). Applications of Transglutaminase in Textile, Wool, and Leather Processing. *International Journal of Textile Science*, 3, 64-69.
18. Neves, M. P., Castro Coutinho, E., Santos, S. F. D., Silva, E. C. C. D., Silva, J. B. D., & Silva, E. V. C. D. (2024). BENEFÍCIOS DA TRANSGLUTAMINASE NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA. *ARACÉ*.


## 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。