

# 木瓜蛋白酶 (Papain) 液態啤酒澄清助劑：用於冷凝混濁控制與蛋白水解的技術說明

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

木瓜蛋白酶 (Papain) 是來自木瓜乳汁的植物性半胱氨酸蛋白酶，可水解啤酒中參與冷凝混濁的蛋白質與多肽，常用於啤酒澄清與冷安定化處理。其核心價值不是「把所有蛋白質移除」，而是在適當製程條件下減少 haze-active protein 與多酚形成可見複合物的機會，改善低溫儲存時的外觀穩定性。Enzymes.bio 供應的液態 Papain 啤酒澄清助劑以 1 kg 單位線上銷售，CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供。

## 產品定位：Papain 作為啤酒澄清與蛋白水解加工助劑

Papain (木瓜蛋白酶) 是一類植物來源蛋白水解酵素，主要存在於未成熟木瓜 (*Carica papaya*) 乳汁中，能切斷蛋白質肽鍵並生成較短的肽或氨基酸；食品工業長期利用其蛋白水解能力，涵蓋肉品嫩化、蛋白質改質、飲料加工與澄清相關用途<sup>[1]</sup>。在啤酒製程中，液態 Papain 啤酒澄清助劑的主要應用是冷凝混濁控制 (chill haze reduction / chill-proofing)，尤其適用於希望降低包裝後冷藏渾濁、改善視覺一致性與減輕後段過濾負荷的配方與製程。

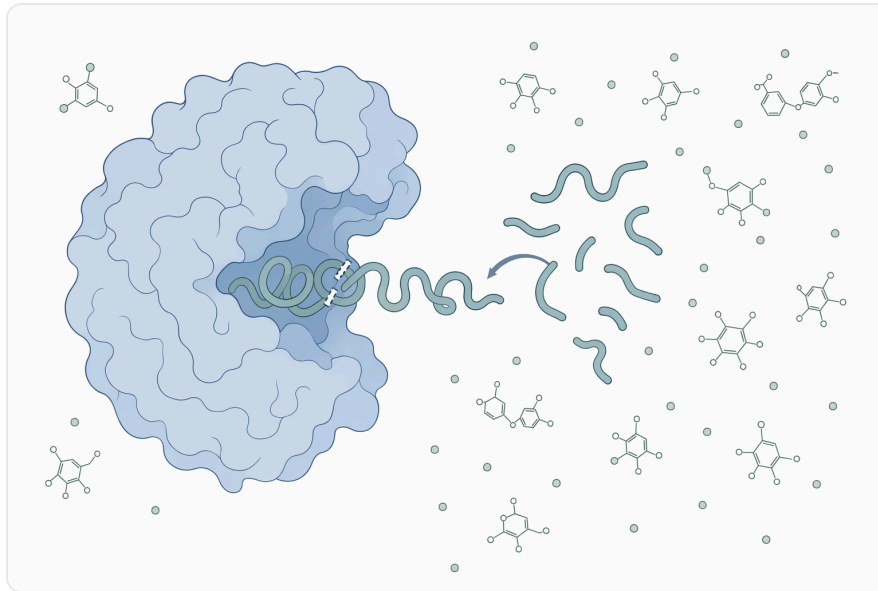
Enzymes.bio 在此供應鏈角色中是線上酵素供應商，而非製造商或實驗室；產品以 1 kg 單位直接在線上銷售，適合需要商用包裝規格的飲料、釀造與食品加工單位採購。與訂單一併提供的 CoA 與 SDS 可作為批次資訊、安全操作與內部文件管理依據，但本說明不替代各廠自身的法規判讀、製程驗證或品質系統要求。

## Papain 的酵素學基礎：植物性半胱氨酸蛋白酶

Papain 屬於半胱氨酸蛋白酶 (cysteine protease)，其催化核心依賴活性位點中的硫醇基團進行親核攻擊，先與底物形成短暫的酰化酵素中間體，再由水分子水解釋放肽產物並再生酵素。這種反應機制使 Papain 能在相對溫和的食品加工條件下有效切割多種蛋白質底物，而不需要強酸、強鹼或劇烈熱處理<sup>[2]</sup>。

與高度專一的蛋白酶相比，Papain 對底物具有較廣的適應性，能作用於多種來源的蛋白質，這也是它在食品加工中被廣泛採用的原因之一。植物半胱氨酸蛋白酶在自然界中與蛋白質周轉、防禦反應與細胞程序性死亡等過程有關，顯示此類酵素本身即具備分解結構蛋白與儲藏蛋白的生物化學能力<sup>[3]</sup>。

在應用層面，Papain 的「廣譜」特性同時是優點與限制：它能有效降低造成混濁的蛋白質片段，但若處理過度，也可能影響與啤酒泡沫、酒體或口感相關的蛋白質組分。因此，Papain 啤酒澄清不是越強越好，而是要在澄清度、泡沫穩定、風味完整性與製程效率之間取得平衡<sup>[4]</sup>。



**Figure 1.** 木瓜蛋白酶是一種半胱氨酸蛋白酶，會水解啤酒蛋白中的肽鍵，而不是以物理方式去除固體或漂白顏色。

## 啤酒冷凝混濁的形成：蛋白質與多酚的交互作用

啤酒冷凝混濁通常與蛋白質、多肽、多酚及其複合物有關。當啤酒進入低溫儲存環境時，部分蛋白質片段會與麥芽、啤酒花或其他原料來源的多酚形成可逆性聚集體；在初期，這類混濁可能於回溫後部分消失，但經過氧化、聚合與長時間儲存後，混濁可能轉為不可逆沉澱，造成瓶裝或桶裝產品外觀下降<sup>[5]</sup>。

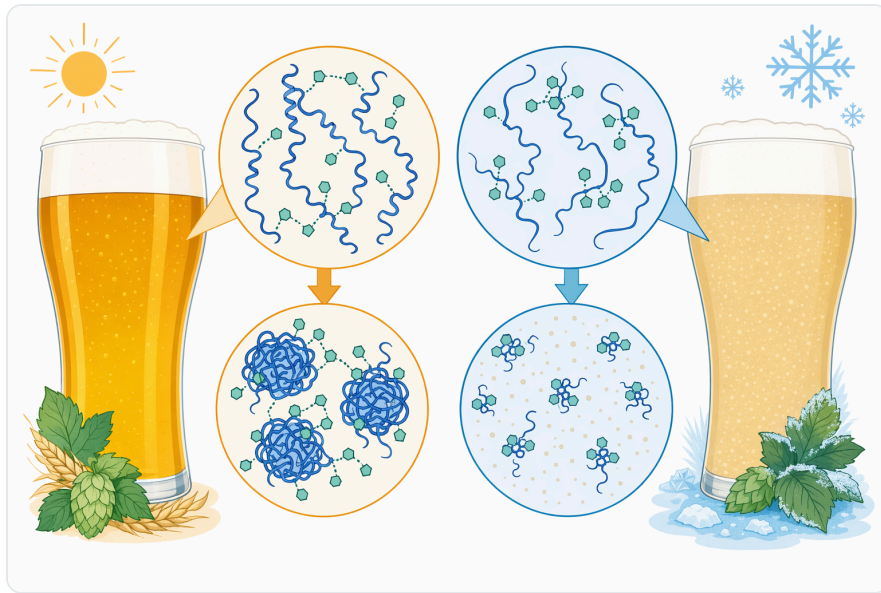
在商業啤酒中，清澈度不只是美觀問題，也與品牌一致性、通路儲存條件及消費者接受度有關。即使風味未明顯劣化，冷藏後出現霧狀懸浮物、沉澱或不均勻光澤，仍可能被判定為品質異常；因此，冷安定化是許多淡色拉格、精釀清爽型啤酒與出口型啤酒的重要後處理目標<sup>[6]</sup>。

Papain 在此的作用，是針對 haze-active protein 進行酵素水解，使原本容易與多酚交互作用並形成較大聚集體的蛋白質片段，轉變為較小、較不易架橋沉澱的胜肽。這種方式與單純物理過濾不同，因為它是在分子層級改變混濁前驅物的可聚集性，而不只是把已形成的顆粒移除<sup>[1]</sup>。

# Papain 如何改善啤酒澄清：從肽鍵水解到冷安定化

## 1. 降低 haze-active protein 的聚集能力

Papain 水解蛋白質後，原本具備多個結合位點、可與多酚形成網狀複合物的蛋白質鏈段會被切成較短片段。當肽長長度降低、構形變小、可同時連結多個多酚分子的能力下降時，就比較不容易形成足以散射光線的聚集體，啤酒在低溫儲存後的霧度也較容易維持在可接受範圍內<sup>[4]</sup>。



**Figure 2.** 冷混濁是由具混濁活性的蛋白質與多酚結合形成膠體顆粒，在低溫下散射光線所造成。

這一機制特別適合解釋「冷凝混濁」而非所有型態渾濁。若渾濁主要來自酵母懸浮、澱粉殘留、微生物污染、氧化沉澱或包材交互作用，Papain 的效果可能有限；它最直接的處理對象是蛋白質性混濁前驅物，而非所有懸浮顆粒<sup>[7]</sup>。

## 2. 影響過濾負荷與後段加工穩定性

當蛋白質聚集傾向降低，後段過濾或離心所需處理的膠體性負荷通常也會下降。這並不代表 Papain 可以取代所有澄清、熟成或過濾步驟，而是可作為冷安定化策略的一部分，協助降低微細蛋白聚集物對濾材的壓力，並提升批次外觀一致性<sup>[6]</sup>。

在啤酒生產中，過濾效率受酵母量、膠體顆粒、蛋白質、多醣與酒體設計等多重因素影響。Papain 對蛋白質性前驅物的分解，可與低溫熟成、離心、過濾、吸附型澄清材料或熱穩定管理搭配使用，但具體組合仍應依啤酒風格與廠內設備配置決定<sup>[8]</sup>。

### 3. 澄清效果與泡沫保持之間的平衡

啤酒泡沫穩定與部分蛋白質、糖蛋白、啤酒花樹脂及多醣結構有關。若蛋白酶處理過度，可能降低泡沫保持力或改變口感；若處理不足，冷凝混濁仍可能發生。因此 Papain 的使用邏輯應是控制性水解，而非全面性蛋白質去除<sup>[1]</sup>。

對泡沫敏感的產品，例如小麥啤酒、濃色艾爾、強調酒體厚度或蛋白質口感的風格，通常需要更謹慎地評估 Papain 對感官輪廓的影響。相反地，對清澈度、冷藏穩定與長距離流通要求較高的清爽型啤酒，則較容易從蛋白質冷安定化中受益<sup>[4]</sup>。



Figure 3. 最合理的做法是在過濾或包裝之前加入木瓜蛋白酶，使蛋白質水解有助於後續澄清與最終穩定性。

### 與其他啤酒澄清策略的比較

Papain 屬於「酵素型冷安定化」工具，其優點在於直接改變蛋白質前驅物；但啤酒澄清並沒有單一萬用方案。釀造廠常依產品定位、設備條件、法規與感官目標，組合不同澄清與穩定化方式<sup>[6]</sup>。

| 澄清 / 穩定化策略  | 主要作用對象                        | 優點                     | 主要限制                   | 適合情境                |
|-------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| Papain 蛋白水解 | 蛋白質性混濁前驅物、haze-active protein | 從分子層級降低蛋白質聚集傾向；可改善冷凝混濁 | 過度處理可能影響泡沫與口感；需與製程條件配合 | 需改善冷藏後霧度、提升包裝穩定性的啤酒 |
| 低溫熟成        | 酵母、冷凝聚集物、部分膠體顆粒               | 製程概念簡單，可改善成熟風味與沉降      | 需要時間與槽容；對特定蛋白前驅物未必充分   | 傳統拉格、需長時間穩定化產品      |

| 澄清 / 穩定化策略 | 主要作用對象          | 優點            | 主要限制              | 適合情境         |
|------------|-----------------|---------------|-------------------|--------------|
| 過濾 / 離心    | 已形成懸浮顆粒、酵母、部分膠體 | 效果直觀，可提升亮度    | 對未來形成的冷凝混濁前驅物控制有限 | 包裝前終端澄清      |
| 吸附型澄清材料    | 蛋白質或多酚，依材料而異    | 可針對特定分子族群降低風險 | 可能影響風味、色澤或製程損耗    | 需要與既有過濾系統整合時 |
| 製程與原料管理    | 麥芽蛋白、多酚、糖化與煮沸條件 | 從源頭降低混濁風險     | 調整週期較長，受配方限制      | 長期產品平台優化     |

Papain 與物理澄清手段最大的差異，在於它不是等待混濁形成後再移除顆粒，而是降低蛋白質形成顆粒的能力。這對需要在冷鏈、貨架期與不同通路條件下保持清澈的啤酒尤其有意義，但仍需搭配良好的氧控、衛生管理與包裝穩定性設計<sup>[7]</sup>。

## 液態配方在啤酒製程中的整合方式

液態 Papain 的實務優勢在於可分散於水相系統，較容易導入啤酒調整、熟成或包裝前的處理流程。與粉末型原料相比，液態型態在部分工廠中可降低預分散步驟的複雜度，但仍需確保加入後能與酒液充分混合，避免局部濃度差造成處理不均。

Papain 通常會被安排在啤酒已完成主要發酵、進入熟成或條件化階段時使用，讓酵素有機會接觸尚未完全沉降或過濾的蛋白質性前驅物。若導入點太早，酵素可能受發酵系統中其他變因影響；若太晚，則反應時間不足或需額外調整包裝節奏<sup>[4]</sup>。





**Figure 4.** 木瓜蛋白酶提供廣泛的植物來源蛋白水解作用，而脯胺酸專一性內切蛋白酶與非酵素吸附劑則透過不同的目標選擇性或去除機制來改善啤酒穩定性。

在製程管理上，Papain 的效果受 pH、溫度、接觸時間、原料蛋白組成、酒精濃度與多酚含量共同影響。這些因素會改變酵素活性與底物可及性，因此同一酵素在不同啤酒風格、不同麥芽批次或不同酒花負荷下，可能表現出不同澄清結果<sup>[1]</sup>。

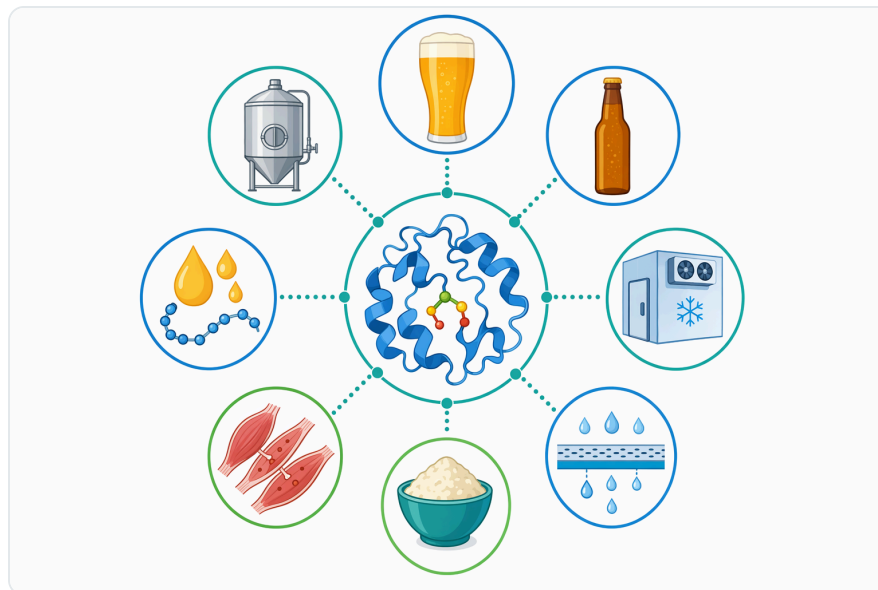
## 對蛋白水解與飲料應用的延伸價值

除了啤酒澄清，Papain 也常被討論於蛋白質水解與食品機能改質。蛋白水解可改變溶解性、乳化性、界面吸附行為與肽組成，這些變化在植物蛋白、動物蛋白副產物及飲料型蛋白配方中都有研究基礎<sup>[9]</sup>。

近年多項食品研究顯示，酵素水解可調整蛋白質的分子量分布與表面特性，進而影響乳化穩定、抗氧化相關表現或溶解行為。例如不同蛋白酶處理可改變大麻籽蛋白乳液的界面層特性與氧化穩定性，顯示蛋白水解在飲料與乳化食品中具有配方設計價值<sup>[10]</sup>。

在米蛋白等植物性蛋白研究中，酵素水解結合結構處理可改善溶解度、乳化性與抗氧化活性，這類結果雖不等同於啤酒澄清效果，卻有助於理解 Papain 作為「蛋白質結構調整工具」的技術邏輯<sup>[11]</sup>。對 B2B 食品與飲料研發而言，這代表 Papain 不只是澄清助劑，也可能參與蛋白飲、風味基底或水解蛋白原料的加工設計。

Papain 與鳳梨蛋白酶等植物蛋白酶的組合也常見於蛋白水解研究；例如雞頭蛋白水解物研究顯示，Papain 與 Bromelain 可共同影響乳化與脂質氧化抑制相關性質。此類研究可作為食品研發參考，但不同蛋白基質與製程條件不可直接等比例移植<sup>[12]</sup>。



**Figure 5.** 魚類、豆類、乳製品、馬鈴薯及動物蛋白系統的食品蛋白研究，支持木瓜蛋白酶一般能將完整蛋白質轉化為功能性改變的肽混合物。

## 品質、安全與法規考量

Papain 是蛋白質性酵素，操作時應把它視為可能引發過敏或刺激反應的加工助劑。液態型態雖可降低部分粉塵暴露風險，但仍需依 SDS 採取適當個人防護、避免高濃度接觸皮膚與眼睛，並維持食品廠標準的清潔、標示與交叉污染管理。

在法規層面，Papain 於食品工業中的使用歷史相當長，但其作為加工助劑、食品添加物或需標示成分的分類，會依銷售市場、產品類型與當地法規而不同。釀造廠若用於出口產品，應同時考量目的地市場對加工酵素、過敏原、素食標示及釀造助劑揭露的規定<sup>[6]</sup>。

液態酵素的穩定性通常會受到溫度、時間、pH、金屬離子、氧化狀態與保存環境影響。Papain 的活性中心含有關鍵硫醇基團，因此不適當的儲存或氧化環境可能降低其實際作用表現；產品到貨後應依標籤與 SDS 所載條件保存，並以廠內文件系統追蹤批次與使用紀錄<sup>[2]</sup>。

## 製程限制與風險：避免把澄清理解為單一變數

Papain 對蛋白質性混濁具有明確技術邏輯，但它不能解決所有啤酒穩定性問題。若渾濁來源是微生物污染、酵母再懸浮、澱粉殘留、氧化聚合、金屬催化反應或包裝後二次變化，單靠蛋白酶處理通常不足以恢復產品穩定性<sup>[7]</sup>。

另一項限制是風格適配性。某些啤酒本來就保留可見混濁作為風格特徵，例如小麥啤酒、NEIPA 或含高比例未發芽穀物的酒款；對這些產品而言，澄清不一定是正向目標，Papain 反而可能削弱風格所需的酒體、口感或外觀<sup>[5]</sup>。



**Figure 6.** 同樣能減少蛋白混濁的蛋白水解作用，若過度分解有助於泡沫的蛋白質，也可能損害泡沫。

Papain 也可能與其他澄清材料或加工條件產生交互影響。若同時使用吸附型蛋白移除材料、強烈過濾、熱處理或多酚控制手段，最終清澈度與泡沫表現可能由多重因素共同決定，因此不宜把結果完全歸因於單一酵素<sup>[6]</sup>。

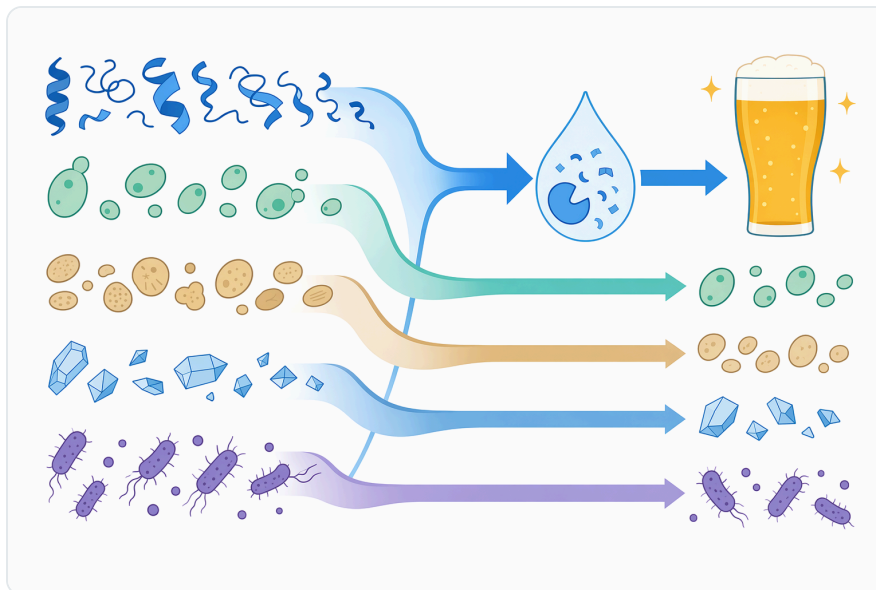
## 導入思路：從產品目標回推酵素處理窗口

導入 Papain 時，較合理的做法是先定義產品目標：是降低冷藏霧度、延長外觀穩定、提升過濾順暢度，還是降低批次間清澈度波動。不同目標會導向不同處理強度；例如出口型清爽拉格可能重視長期冷安定，而現飲型精釀啤酒可能更重視保留泡沫與口感<sup>[4]</sup>。

製程上可把 Papain 視為「蛋白質風險調整工具」，而不是終端修補手段。若上游糖化、煮沸、旋沉、發酵、熟成與過濾管理不穩定，Papain 雖可降低部分混濁前驅物，卻無法完全抵銷整體製程波動；因此最佳效果通常來自酵素處理與既有品質管理的整合<sup>[1]</sup>。

感官面也不應被忽略。即使澄清度改善，若泡沫細緻度、酒體厚度、麥芽圓潤感或風味平衡受到影響，產品整體接受度未必提升。Papain 的成功導入應同時觀察外觀、泡沫、香氣、口感與貨架期表現，而非只看單一清澈指標<sup>[6]</sup>。





**Figure 7.** 木瓜蛋白酶作用於蛋白質性混濁成因，但無法直接解決主要由酵母、澱粉、礦物質、微生物、氧化或包裝問題所造成的濁度。

## Enzymes.bio 供應資訊與文件交付

Enzymes.bio 提供的 Papain 液態啤酒澄清助劑面向 B2B 食品、飲料與釀造應用，產品以 1 kg 單位在線上直接銷售；此模式適合需要明確包裝單位、可納入內部採購與生產紀錄的使用者。

Enzymes.bio 不是製造商，也不是檢測實驗室，因此本文件以公開文獻與供應資訊整理技術背景，不以製造端口吻宣稱製程細節。

每筆訂單會隨貨提供 CoA 與 SDS，用於批次資訊、安全操作與內部合規文件留存。CoA 可協助確認到貨批次的供應文件一致性；SDS 則提供儲存、操作、防護與意外處置資訊，供工廠依自身安全衛生制度納入管理。

## 結論：Papain 適合用於蛋白質性冷凝混濁的控制，但需與風格與製程整合

Papain 是食品工業中成熟的植物性半胱氨酸蛋白酶，其技術核心在於水解蛋白質肽鍵，將容易參與冷凝混濁的蛋白質或多肽轉化為較不易聚集沉澱的片段。對啤酒而言，它最具價值的應用是啤酒澄清、冷安定化與蛋白質性混濁風險降低，而非取代所有過濾、熟成或衛生管理措施<sup>[1]</sup>。

對釀造廠與飲料研發單位來說，Papain 液態啤酒澄清助劑的導入重點，是在清澈度與感官品質之間建立可重複的製程窗口。當原料、酒款風格、後處理流程與包裝條件匹配時，Papain 可成為降低冷藏霧度、改善外觀一致性與支援蛋白水解應用的有效工具；Enzymes.bio 以 1 kg 單位供應此類產品，並隨訂單提供 CoA 與 SDS 供使用者納入內部品質與安全文件管理。

## 線上訂購 Papain 80,000 U/G Liquid Beer Clarification Additive Hydrolyzed Protein Biological 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 Papain 80,000 U/G Liquid Beer Clarification Additive Hydrolyzed Protein Biological 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. Fernández-Lucas, J., Castaneda, D., & Hormigo, D. (2017). New trends for a classical enzyme: Papain, a biotechnological success story in the food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 68, 91-101.
2. 174. Ac.
3. Beers, E., Woffenden, B. J., & Zhao, C. (2000). Plant proteolytic enzymes: possible roles during programmed cell death. *Plant Molecular Biology*, 44, 399-415.
4. Choudhary, R., Kaushik, R., Chawla, P., & Manna, S. (2024). Exploring the extraction, functional properties, and industrial applications of papain from Carica papaya. *The Journal of the Science of Food and Agriculture*.
5. Aradwad, P. P., Raut, S., Abdelfattah, A., Rauh, C., & Sturm, B. (2025). Brewer's spent grain: Unveiling innovative applications in the food and packaging industry. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24.
6. Siddikey, F., Jahan, M. I., Hormoni, Hasan, M., Nishi, N. J., Hasan, S., Rahman, N., ... et al. (2025). Enzyme Technology in the Food Industry: Molecular Mechanisms, Applications, and Sustainable Innovations. *Food Science & Nutrition*, 13.
7. Souza, T. D., & Kawaguti, H. (2021). Cellulases, Hemicellulases, and Pectinases: Applications in the Food and Beverage Industry. *Food and Bioprocess Technology*, 14, 1446 - 1477.
8. Leena, M., Bharathi, S. K. V., Moses, J., & Anandharamakrishnan, C. (2020). Potential Applications of Nanofibers in Beverage Industry.
9. Sarkar, P., & Duary, R. (2023). Value addition of Samia ricini (Eri) pupae derived proteins: production and characterisation of antioxidant, ACE and DPP-IV inhibitory hydrolysates. *Journal of Insects as Food and Feed*.
10. Wang, Q., Sun, X., Tang, Z., Cao, Y., Yu, H., & Wu, M. (2024). Enhancing the physical and oxidative stability of hempseed protein emulsion via comparative enzymolysis with different proteases:

Interfacial properties of the adsorption layer. *Food Research International*, 201, 115654 .

11. Qi, X., Luo, Y., Fei, W., Shen, M., Chen, Y., Yu, Q., & Xie, J. (2024). Effects of enzyme hydrolysis-assisted fibrillation treatment on the solubility, emulsifying properties and antioxidant activity of rice protein. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135378 .
12. Syahdan, M. G. M., Andiana, P., & Radiati, L. (2024). Emulsifying and Lipid Peroxidation Inhibitory Activities of Chicken Head Protein Hydrolysate Using a Combination of Papain and Bromelain Enzymes. *Asian Food Science Journal*.

## 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。