農副產物高值化利用翻轉永續供應鏈

撰文｜畜產試驗所　萬添春、郭卿雲

前言

在全球氣候變遷與健康意識抬頭的背景下，肉製品加工產業正經歷一場重要轉型。傳統肉製品長期依賴化學合成添加物以維持產品質地與延長儲存壽命，然而隨著現代消費者對「潔淨標章」（Clean Label）與環境永續之需求日益提升，如何透過技術創新實現「減法加工」與「資源循環利用」，已成為當前科研之重要核心議題。現代肉品加工之前瞻性發展重點在於運用物理性修飾技術與天然生物活性物質，取代傳統化學添加物，並進一步透過畜產副產物（by-products）之高值化利用，促進循環經濟之實踐。本報告探討高壓加工（high pressure processing, HPP）與低溫電漿（cold plasma, CP）於蛋白質結構修飾之應用，分析天然植物萃取物與胺基酸於無化學添加物之肉製品中的協同增效作用機制，並進一步探討畜產副產物中生物活性胜肽之萃取技術與再利用策略。透過整合「農場至餐桌」之全鏈資源管理，建構兼具食品安全、營養健康及環境永續之現代肉製品生產體系藍圖。

物理性修飾技術對肉製品蛋白質結構之重塑

潔淨標章之核心在於減少非必要之化學添加物。物理性加工技術，特別是高壓加工與新興之低溫電漿技術，能在不添加磷酸鹽之條件下，藉由調控蛋白質分子間作用力（如氫鍵、疏水作用及靜電交互作用）以提升肉製品之功能性與品質特性。

研究顯示，高壓加工可誘導蛋白質形成緊密之凝膠網絡結構。於400 MPa壓力處理下，牛肉中肌凝蛋白發生變性，進而促進蛋白質重新排列與交聯作用，使蒸煮損失顯著降低約15%，且能有效維持肉品之天

表1. 現代物理技術於潔淨標章肉品之功能

加工技術	作用機制	對應化學添加物減量	主要品質提升
高壓加工	靜水壓力誘導蛋白凝膠化	磷酸鹽、乳化劑	提升保水性、冷殺菌（Wang et al., 2025）
低溫電漿	活性氧氮物種誘導結構修飾	化學防腐劑	增加凝膠硬度、高效滅菌（Garcia et al., 2025）

然色澤與微量元素含量（Wang et al., 2025）。此外，高壓加工具備非熱殺菌之優勢，可在維持產品感官品質之前提下抑制微生物生長，因此成為延長減鹽肉製品儲存壽命之關鍵技術之一。

另一項具前瞻性之技術為低溫電漿。研究指出，低溫電漿生成之活性氧氮物種（reactive oxygen and nitrogen species, RONS）可誘導蛋白質發生氧化修飾，進而改變其構形與界面性質。研究發現，在60秒低溫電漿處理下，豬肉肌原纖維蛋白之表面疏水性顯著提升，有助於增強低鹽條件下之乳化穩定性與凝膠強度（Garcia et al., 2025）。此外，低溫電漿技術對食品表面致病菌具有良好之去活化效果，可作為傳統化學防腐劑之替代策略。

綜上所述，這些物理性修飾技術之整合，不僅可支持「無磷酸鹽、減鹽」潔淨肉製品之開發，亦能在非熱加工條件下有效保留營養成分與提升產品安全性，為現代肉品加工提供重要之技術基礎。

天然添加物與鹼性胺基酸增加潔淨標章肉品之功能性

除了物理性加工技術外，導入天然來源之生物活性成分與功能性胺基酸，亦為實現「無化學添加」之關鍵策略之一。傳統合成抗氧化劑（如BHA/BHT）正逐漸受到植物來源萃取物之挑戰，而帶正電之鹼性胺基酸則展現出調控離子強度與蛋白質功能性之潛力。

研究顯示，茶花萃取物（tea flower extracts）富含茶多酚與黃酮類化合物，具有良好之自由基清除能力與脂質氧化抑制效果，能顯著延緩冷藏肉製品之脂肪氧化。研究指出，於肉漿中添加0.2%茶花萃取物，於15天儲藏期間，僅測得極少量氧化酸敗值（TBARS），其抗氧化效能甚至優於部分合成抗氧化劑（Lee et al., 2026）。此外，香菇粉（mushroom powder）因富含膳食纖維與天然呈味物質，被證實可同時作為質地改良劑與風味增強劑。最新研究顯示，以3%香菇粉取代 50% 磷酸鹽，仍可維持肉

丸之咀嚼性與多汁性，並進一步提升產品之必需胺基酸含量與營養價值（Chen et al., 2025）。

在減鹽與無磷酸鹽之配方設計中，鹼性胺基酸（如L-精胺酸與L-離胺酸）之應用日益受到重視。研究證實，添加0.5% L-精胺酸可顯著提升肌肉蛋白之溶解度，並透過調節系統pH值與離子強度，可以部分補償磷酸鹽缺失所導致之保水性下降（Kim et al., 2026）。此種「以營養強化促進品質提升」之策略，不僅符合潔淨標章之發展趨勢，亦賦予產品潛在之機能性訴求，使肉製品逐步轉型為兼具營養與健康導向之功能性食品。

畜產副產物在永續肉品之開發應用

循環經濟為永續肉製品發展中不可或缺之核心要素。畜牧生產過程所產生之大量副產物（如骨骼、皮膚、血液及內臟）富含優質蛋白質及多種生物活

表2. 天然生物活性物質於肉製品替代化學添加物之功能評估

天然替代方案	功能定位	替代之化學成分	研究關鍵發現
茶花萃取物	抗氧化、抑菌	BHA/BHT	延遲氧化酸敗高於 15 天（Lee et al., 2026）
香菇粉	鮮味增強、質地修飾	磷酸鹽、麩胺酸鈉	提升必需胺基酸含量（Chen et al., 2025）
鹼性胺基酸	調整 pH 與離子強度	聚磷酸鹽	提升蛋白溶解度與保水力（Kim et al., 2026）



表3. 畜產副產物於肉製品高值化應用之研究

副產物來源	加工技術	萃取物/成分	應用效果與影響
鹿茸粉	亞臨界水技術	生物活性胜肽	• 提升肉製品抗氧化能力 • 展現潛在免疫調節功能（Zhao et al., 2025）
家禽羽毛、豬皮	萃取技術	膠原蛋白胜肽	• 改善低脂肉製品乳化穩定性 • 形成更緻密均勻的微觀網絡結構（Kumar et al., 2025）
動物骨粉	酵素水解技術	高生物可利用性有機鈣	• 提升產品鈣含量 • 透過離子橋接強化肌肉蛋白凝膠結構與強度（Silva et al., 2025）
副產物萃取物與幾丁聚醣	智慧型/主動式包裝技術	生物可分解薄膜	• 即時監測肉品新鮮度變化 • 提升保存安全性與穩定性（Liu et al., 2025; Lopez et al., 2026）

性成分，若能透過適當技術進行高值化再利用，不僅可降低環境負荷，亦能有效提升產業附加價值與資源使用效率。

研究指出，利用亞臨界水技術（subcritical water technology）可自畜產副產物（如鹿茸粉或骨粉）中萃取具高度生物活性之胜肽。最新實驗顯示，於肉製品中添加2%副產物來源胜肽萃取物，可顯著提升其抗氧化能力（DPPH自由基清除率提升約40%），並展現潛在之免疫調節功能（Zhao et al., 2025）。此外，自家禽羽毛或豬皮中萃取之膠原蛋白胜肽，已被證實能有效改善低脂肉製品之乳化穩定性，並透過掃描式電子顯微鏡觀察到更為緻密且均勻之微觀網絡結構（Kumar et al., 2025）。

副產物中礦物質之回收利用亦為當前研究重點之一。研究透過酵素水解技術處理畜產骨粉，製備具高生物可利用性之有機鈣來源，並將其添加於肉漿系統中，除可提升產品鈣含量外，亦可與肌肉蛋白產生離子橋接作用，進而強化凝膠結構與機械強度（Silva et al., 2025）。

此外，透過智慧型標章技術監測副產物之萃取物於包裝系統中的穩定性，研究顯示，結合幾丁聚醣與天然活性物質之生物可分解薄膜，可作為包裝材料能即時反映肉品新鮮度變化，提升保存安全性（Liu et al., 2025；Lopez et al., 2026）。整體而言，此類全豬利用模式可將原本之廢

棄物轉化為高附加價值資源，進而建構具韌性與永續性之肉品供應鏈體系。

結語

綜觀近年之研究趨勢，現代肉製品加工正穩步邁向「物理加工為基礎、天然成分為核心、副產物循環為價值導向」之發展格局。透過高壓加工與低溫電漿等物理性技術之應用，已逐步降低對合成化學添加物之依賴，並促進潔淨標章產品之實現。同時，天然植物萃取物與功能性胺基酸之導入，進一步提升產品之營養價值與健康導向特性。更為關鍵的是，畜產副產物之高值化再利用，可將原本低利用價值之廢棄資源轉化為具生物活性之功能性原料，不僅落實循環經濟理念，亦強化產品差異化與



市場競爭優勢。未來研究建議應進一步聚焦於副產物中特定功能性胜肽之精準鑑定與作用機制解析，並結合智慧製造與數據驅動技術，建構兼具低碳排放與高營養價值之肉品加工體系。透過產學研跨領域整合，肉製品產業可望同時達成提升人類營養健康與維護環境永續之雙重目標。

參考資料

1. Chen, H., J. Wang, and G. M. Gupta. 2025. Replacement of phosphate in emulsifie sausages with Lentinula edodes powder: Effects on texture, sensory, and amino acid profile. LWT 210:116520.
2. Garcia, R., S. M. Patel, and T. Rossi. 2025. Cold plasma treatment of myofibrillar proteins: Impacts on structural unfolding and gel properties in low-salt pork systems. J. Food Eng. 385:112015.
3. Kim, D. H., S. J. Park, and Y. K. Lee. 2026. Synergistic effects of L-arginine and L-lysine on the solubility and thermal gelation of nitrite-free meat systems. Meat Sci. 215:109840.
4. Kumar, P., R. Singh, and S. V. Kumar. 2025. Bioactive peptides from poultry by-products: Extraction, characterization, and application in low-fat meat systems. Food Chem. 450:139281.
5. Lee, S. Y., T. W. Kim, and H. J. Chang. 2026. Antioxidant efficacy of tea flower extracts (Camellia sinensis) in clean-label beef patties during refrigerated storage. Foods 15:2416.
6. Liu, Z., M. Zhang, and B. Adhikari. 2025. Development of clean-label emulsified sausages using physical treatments and natural stabilizers: A life cycle assessment. Sustainability 17:1854.
7. Lopez, M., J. Fernandez, and C. Wu. 2026. Intelligent chitosan-based active labels for real-time freshness monitoring of poultry meat in a circular economy. Sens. Actuators B Chem. 420:136512.
8. Silva, M. F., J. L. Santos, and A. R. Lima. 2025. Enzymatic hydrolysis of bone meal for the production of organic calcium and its impact on meat gel properties. J. Sci. Food Agric. 105:2145–2153.
9. Wang, Y., L. Liu, and J. Chen. 2025. High hydrostatic pressure-induced modification of bovine myosin: Insights into gelation mechanisms and phosphate-free applications. Food Hydrocoll. 160:110231.
10. Zhao, Q., M. F. Silva, and R. Thompson. 2025. Subcritical water extraction of bioactive peptides from deer antler by-products and their antioxidant potential in functional meat products. Waste Manage. 192:245–256.