

財團法人
食品工業發展研究所
Food Industry Research and Development Institute

生物資源保存及研究簡訊

第37卷第2期

中華民國 113 年 6 月發行

補助單位：經濟部產業技術司 / 執行單位：財團法人食品工業發展研究所

本期內容

研發成果

1

- ◎ 微生物組於食品風味修飾技術及咖啡生豆生產應用
- ◎ 微生物纖維於脂肪替代品之開發及應用
- ◎ 微藻蛋白萃取及精製分離技術
- ◎ 農畜產循環資源開發降血壓肽之技術

微生物組於食品風味修飾技術及咖啡生豆生產應用

生資中心 / 副研究員
鄭傑仁

一、前言

風味是消費者選擇食品或飲品的重要考量因素。風味品質的多樣性與獨特性，更是決定市場價值的關鍵之一。產業靠著風味的創新，吸引消費者的味蕾，驅動消費者的購買力。尤其是對康普茶、酒、咖啡、可可等發酵食品，風味的重要性更不可言喻。食品的發酵過程當中，微生物們可將食物原材料中含有的各類基質，如可發酵糖（如：葡萄糖、果糖、蔗糖...）、碳水化合物（如纖維素、果膠...）、蛋白質、脂質、礦物質、維生素等，作為自身生長的營養源，並在生長的同時，將各類基質代謝轉化為多樣的化合物，如：有機酸、二氧化碳、醇類、酯類（esters）、醛類（aldehydes）等，賦予食品香氣、風味、營養加值、保存、及質地改善等效益。

二、咖啡後製及微生物對風味的影響

咖啡飲料的迷人風味，在多

數人的認知中，是來自於咖啡豆烘焙的變化，然而，烘焙前的咖啡生豆，其實已決定了一大半，也就是從咖啡果實製作成咖啡生豆的處理過程，很大程度上決定了咖啡風味的調性。我們沖煮咖啡所使用的咖啡豆，是咖啡果實（coffee cherry）內的咖啡種子。咖啡種子外包覆著銀皮、內果皮、果膠、果肉和外果皮，在咖啡果實採收後，要經過眾多繁複的處理程序，才能獲得最內層的咖啡種子（咖啡生豆）。而這個將咖啡新鮮果實製作成咖啡生豆的過程，就稱為咖啡果實的後製處理。咖啡果實的後製處理，可分為乾式處理法和濕式處理法兩大類。乾式處理法包含日曬處理法（natural dry process）、蜜處理法（honey/semi-dry process）；濕式處理法包含水洗處理法（washed process）、半水洗處理法（semi-washed process）。乾式處理法，是將所採收之咖啡果實，或脫皮的咖啡果實，直接置於地上或棚架上進行乾燥，之後經過脫殼即

可取得咖啡生豆。濕式處理法，是將採收後的果實，先以脫皮機把大部分的果皮及果肉，與帶殼的咖啡豆分離，再將帶殼咖啡豆集中置於水槽裡，以清水浸泡發酵數天，用流水清洗除去具黏性的果膠後，進行乾燥，最後經過脫殼取得咖啡生豆。

在咖啡果實的後製處理過程中，過往認為只有在濕式處理法，浸泡清水的過程中會有微生物發酵作用的參與。但其實乾式處理法在咖啡果實乾燥的過程中，也仍有微生物發酵作用，但參與或優勢的微生物物種與濕式處理法有所不同。近年來的研究發現，參與在咖啡後製處理中的微生物，可多達 80 多個屬，有酵母菌、乳酸菌、各式細菌、絲狀真菌等，不僅會受處理法影響，也有地域或海拔差異存在。於濕式處理法中，常見的微生物物種包含如：*Leuconostoc*、*Enetrobacteriaceae*、*Cellulosimicrobium*、*Weissella*、*Lactococcus*、*Lactobacillus*、*Pichia*、*Starmerella*、*Candida* 等；於乾式處理法中，常見的微生物物種包含如：*Leuconostoc*、*Enetrobacteriaceae*、*Gluconobacter*、*Acetobacteraceae*、*Cellulosimicrobium*、*Lactobacillus*、*Pichia*、*Starmerella*、*Candida*、*Saccharomycopsis* 等。後製處理發酵過程中的微生物來源，可能為定殖於咖啡果實表面或植株的微生物，也可能來自於周遭環境，如土壤、水源、後製設施、昆蟲、後製者等。微生物們經發酵過程，會有明顯的增殖，不僅幫助咖啡果膠的水解，也同時生成如醇、

醛、酸、酯、酮、萜烯類等化合物，帶給咖啡各式愉悅的風味感受。此外，近年在咖啡發酵的研究上，也開始嘗試不同的環境條件或添加外源各類菌種，創造新製程及增加風味多樣性。因此咖啡後製處理中的發酵作用，已從原本協助果膠清除或避免腐敗的角色，轉型為影響咖啡風味的工具。雖然後製發酵有利於咖啡風味的塑造，但因參與的微生物種類複雜，如何控制其走向及穩定是產業界面臨的挑戰。

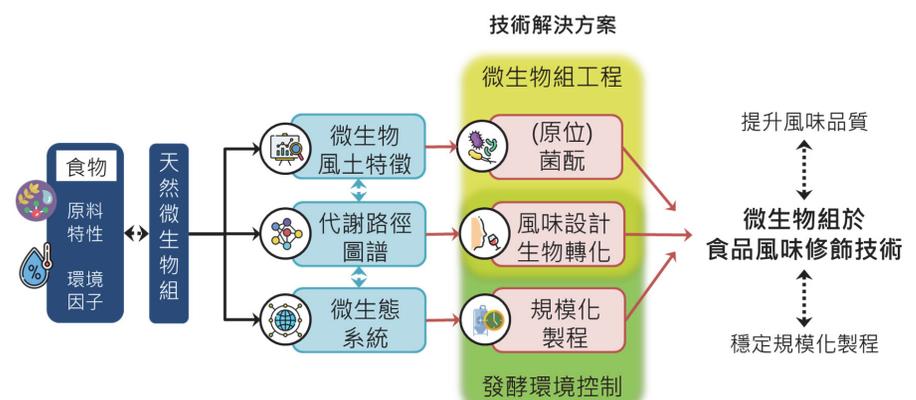
三、本所研發成果

微生物組 (microbiome) 技術發展至今，已成為微生物相關領域的熱門議題，不僅著眼於對宿主健康的影響，如人體、動物體、農作物等，對於食品產業的供應鏈系統及製程應用也相當重視。過往受限於技術，難以解析牽連眾多微生物種類或包含各式交互作用的食物發酵製程系統，如今因為定序技術及體學技術的發展，使我們能利用微生物組資訊及代謝物分析，從代謝途徑分析及資料探勘的角度來解構。因此不僅學研界積極投入，產業界對其改善生產製程的應用也寄予厚望。

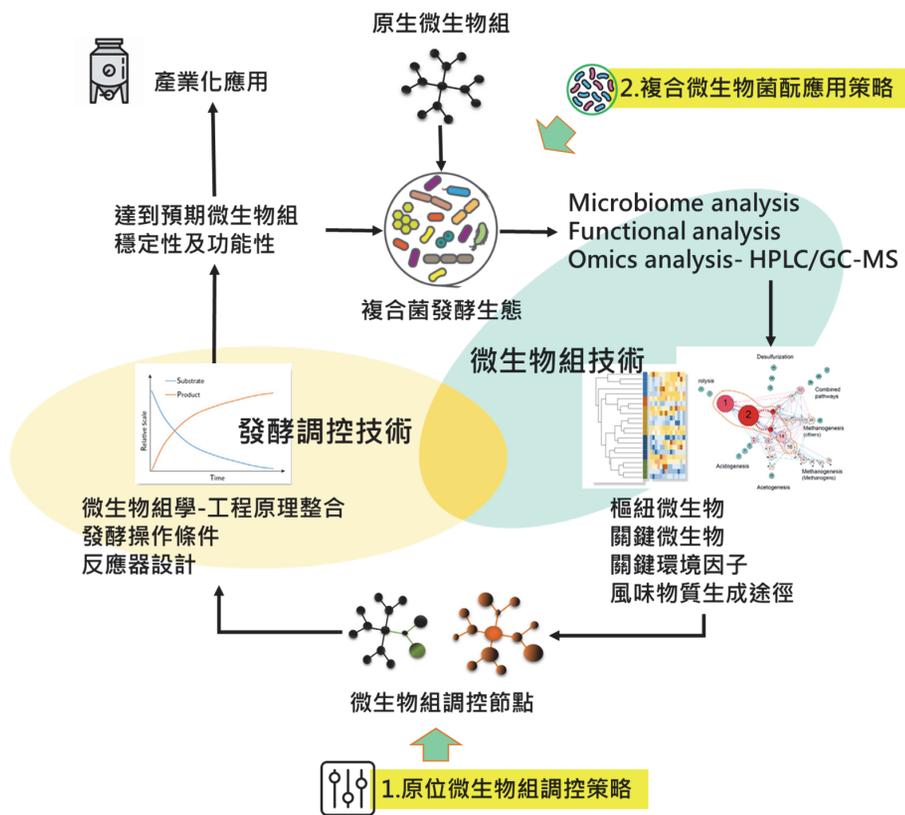
從產業應用的觀點來看，若能透過微生物組技術的應用，了解食品發酵製程過程中，微生物組成與原料、環境因子等的交互作用，從中解析微生物的風土特徵、代謝路徑圖譜及微生物態系統樣貌，並探勘微生物組成、環境參數與產品品質或風味生成之間的關聯性，應能挖掘出改善產品品質的製程關鍵或應用開發的契機。

因此，本所針對發酵食品產業提供的解決方案，是運用微生物組技術，結合微生物組工程技術及發酵環境控制，發展出包含菌醱應用、風味設計生物轉化及規模化製程的微生物組於食品風味修飾技術，架構如圖一所示，能協助產業提升產品品質、風味、安全性及規模化製程等。

微生物組於食品風味修飾技術是以微生物組技術為核心，建構發酵製程解析及發酵製程調控兩套系統。A. 發酵製程解析系統，是以微生物組技術，結合製程數據收集及代謝物分析，以生物資訊的運算，整合多體學的資訊，以科學化的方式，深入解析發酵製程中，微生物組成變化與產品風味品質之間的關聯，並從



圖一、微生物組於食品風味修飾技術架構



圖二、微生物組技術轉譯應用於發酵製程調控的策略

中探勘出能有效影響風味品質的關鍵節點，作為發酵製程調控系統的介入點。B. 發酵製程調控系統，則是透過微生物組技術的轉譯應用，以微生物組工程技術為核心概念，發展出提升發酵食品品質的兩種調控策略，如圖二所示。1. 原位微生物組調控策略：技術介入點是針對影響風味品質的關鍵節點，結合環境參數設計及製程數據收集，以微生物組設計及原位微生物組調控的管控策略，提升產品的品質、風味或安全性等；2. 複合微生物菌醃應用策略：在發酵管控過程中，於原生的複合菌發酵微生態，導入複合微生物群的應用，調整發酵製程的微生態系統，以調節「微生物組代謝」的概念，達到食品風味的修飾。

以咖啡後製為例，咖啡果實

後製過程中，微生物發酵的參與，會生成眾多種類的微生物代謝物，是咖啡多元且細微風味的關鍵來源之一，因此咖啡發酵微生態系統的「微生物組代謝途徑」，即可作為影響咖啡風味品質的重要著力點，意即我們可透過建立連結「微生物種類-代謝途徑-風味化合物」的邏輯思維，以「微生物+環境條件+原料條件」的組合，設計可規模化的發酵製程，修飾咖啡生豆的風味品質。依上述提及的兩種調控策略，介紹微生物組於食品風味修飾技術在咖啡生豆生產應用的模式：

1. 原位微生物組調控策略

此策略是透過分析不同發酵條件之咖啡後製樣品，將後製流程、發酵參數、風味成分組成(揮發性有機化合物)、咖啡杯測

分數、風味描述等資訊與發酵過程的微生物組成進行比對，探勘影響咖啡生豆風味品質之關鍵節點及微生物種類，並依此建構能以環境調控影響微生物組成，提升咖啡風味品質之後製模式。從技術面來看，此策略是仰賴咖啡果實及咖啡處理環境的原生微生物，透過控制特定環境因子的方式，將原位微生態系塑造成能修飾風味品質的樣貌，因此此策略也可被視為一種透過調控環境的風味轉化技術。此技術策略的規格如下：

- (1) 製程數據收集系統：含微生物組、代謝物、發酵參數等數據之收集，可用於建構製程管控策略
- (2) 製程數據分析技術：透過多參數的關聯性分析，探勘關鍵節點，作為提升品質或新品開發之節點

2. 複合微生物菌醃應用策略

此策略是進一步參考影響咖啡生豆風味品質之微生物種類，將對應的微生物菌株，以單一菌株或多菌株組合的方式，透過生長特性、代謝特性、實驗室模擬發酵試驗、咖啡豆試製及咖啡杯測等評估，開發出能應用於咖啡果實後製並影響咖啡風味的複合微生物菌醃。接著，透過發酵工程技術，設計搭配複合微生物菌醃的咖啡果實處理法流程及發酵參數，建構應用複合微生物菌醃的後製模式。從技術面來看，此策略是透過添加特定的微生物菌種(群)，介入咖啡後製原有的微生態系統，並結合發酵環境管控設計，透過調節「微生物組代謝」

達到對咖啡風味的修飾，因此此策略也可被視為一種透過調控微生物的風味轉化技術。此技術策略的規格如下：

- (1) 咖啡果實後製用複合菌醃 1 組及製程參數
- (2) 咖啡生豆生產用發酵槽：含監控及參數控制等功能
- (3) 可搭配土本酵母菌庫、乳酸菌庫，開發特色商品

上述兩種應用於修飾咖啡風味的模式，都可搭配具有監測或參數控制的發酵槽設備，將咖啡生豆的生產規模化，不僅能提升咖啡生豆之風味品質，亦能規模化生豆生產，對於生產成本效益、穩定性及咖啡生豆的商品化有所助益。

四、結論

微生物組於食品風味修飾技術，可透過食品微生物組技術之轉譯應用，實現微生物組工程調控的概念，進而影響產品的風味品質。此技術可應用在各式發酵、釀造或與微生物應用的相關產業，尤其是由多菌種參與的情境中，如酒品、康普茶、咖啡、可可、酸種麵糰等產品。透過科學化的流程，結合微生物組定序、代謝物分析、風味成分分析、資訊探勘、菌株純化、共培養等技術，再經過組合、篩選、測試、品評等步驟，不僅能提供新風味產品開發的解決方案，亦可在製程優化、穩定品質、量產設計等層面上，提供足夠的技術能量。

五、參考文獻

da Silva Vale, A. *et al.* 2021. *Environmental Microbiology*

Reports 13: 470-481.

De Bruyn, F. *et al.* 2017. *Applied and Environmental Microbiology*. 83: e02398-16.

dos Santos Gomes, W. *et al.* 2024. *Food Research International*

179: 113972.

Lawson, C.E. *et al.* 2019. *Nature Reviews Microbiology* 17: 725-741.

Martinez, S.J. *et al.* 2021. *Frontiers in Microbiology* 12: 671395.

微生物纖維於脂肪替代品之開發及應用

生資中心 / 副研究員
謝榮弘

一、前言

隨著現代生活方式的改變和人們對健康的日益關注，消費者飲食習慣也開始改變，而脂肪為許多食品風味及質地特性變化的關鍵成分之一，於日常飲食中相當常見，但當飽和脂肪攝入過多時，將會對人體健康造成威脅，隨著飲食安全 and 健康意識的提高，低熱量低脂肪的食品也越來越受到歡迎，因此，近年來，利用脂肪替代品來取代食品中的飽和脂肪之需求也開始快速攀升，全球許多大廠開始積極針對替代傳統脂肪的新型食品材料進行研究開發。根據 Mordor Intelligence 市調公司在 2024 年指出，脂肪替代品全球市場於 2023 年達 26 億美元，且正以年均複合成長率 (CAGR) 6.2 % 增長，預計於 2029 年時可達 37 億美元，其中 Nestle、Beneo GmbH、Mitsubishi Kaizen Food Corp 等知名食品及配料公司皆開始陸續進行脂肪替代品之開發，並且也有許多食品公司開始利用脂肪替代品開發低

脂產品。目前較常使用之脂肪替代品大多是以蔗糖聚酯、山梨醇聚酯、三烷氧基丙三羧酸酯等食品許可添加劑，這些添加劑大多以化學合成，若攝取過量對人體將會造成傷害，因此較為天然的脂肪替代品逐漸成為目前市場開發的主流方向。

二、脂肪替代品之技術現況

脂肪替代品為可用於替代食品或產品配方中，並取代傳統脂肪成分的材料，其主要是訴求減少食物中的脂肪含量，從而降低肥胖、心血管疾病、膽固醇失衡、糖尿病、消化系統，以及熱量攝取過度等風險，目前脂肪替代品可分為化學合成基質型、脂肪基質型、蛋白質基質型、碳水化合物基質型、複合型脂肪替代品等五種類型。

化學合成基質型是利用多醣、蛋白質、糖類，脂質等原料進行化學合成，如蔗糖聚酯是由蔗糖和脂肪酸進行脂化合成，其具備與脂肪特徵相似度極高之優勢，於各種烹飪條件下皆可保持

穩定，目前已廣泛應用於各類食品產品中，然而蔗糖聚酯因結構特殊之緣故，在人體內無法被腸道消化吸收，因此即便食用後具有降低熱量及膽固醇攝取量之優點，但也會影響到人體吸收脂溶性維生素之效率，且同時造成腸內滲透壓提高，若食用蔗糖聚酯替代脂肪達 35% 以上之食品，將會造成嚴重腹瀉問題產生，因此消費者對於化學合成基質脂肪替代品喜好度開始逐漸降低。脂肪基質型一般是指不飽和脂肪，如橄欖油、菜籽油等，其主要用於生產過程中替代黃油或動物油，達到降低飽和脂肪含量之效果，此種方式僅能將飽和脂肪替代為不飽和脂肪，較無法直接有效降低產品脂肪含量。蛋白質基質型主要是將脫脂蛋白、低脂牛奶、大豆蛋白、豆腐等蛋白質種類，以物理製程方式加工至微小顆粒使其產生脂肪之風味及口感，在產品開發使用上可部分取代脂肪含量，且具有不易被消化產生熱量之特點，因此可有效降低熱量攝取量。碳水化合物基質型包含澱粉、變性澱粉、親水膠體、纖維類、糊精類等，主要通過增加纖維含量或凝膠來模擬脂肪之質地口感，進而達到產品中脂肪功能之效果，其中澱粉類因價格低廉且效果顯著，因此為最廣泛運用於相關產業界的碳水化合物基質型。複合型脂肪替代品主要是利用兩種以上不同特性之脂肪替代品，於適當比例下進行物理加工，使其充分混後將可產生出效果更加優越之脂肪替代品，而目前常見的複合型脂肪替代品大多是由化學合成脂肪替代品而來，

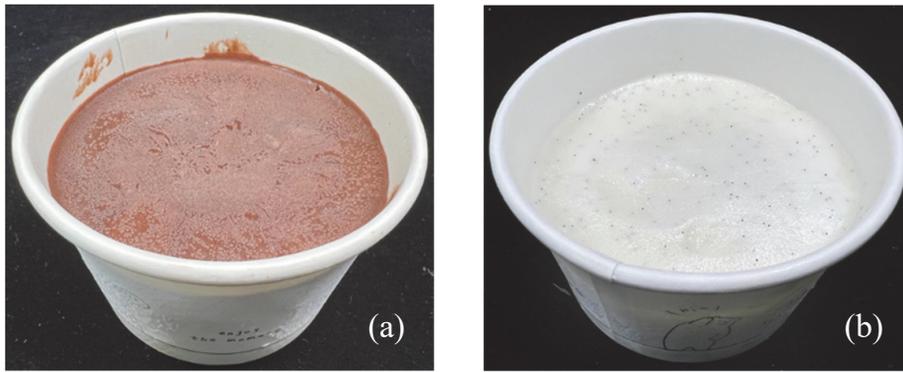
如蔗糖聚酯搭配海藻酸鈉可大幅提升原始種類功能性，然而近年因化學合成脂肪替代品逐漸不受到消費者青睞，因此複合基質脂肪替代品開始轉為利用較天然之原料進行製備，具體可將纖維素添加脂肪或蛋白質，經物理加工製程充分混合均勻，以達到模擬脂肪質地口感之效果，而一般來說這類型複合型脂肪替代品較為天然，且不會因攝取過量後對人體造成傷害，同時複合型脂肪替代品添加於產品效果優越、脂肪替代率高，為目前脂肪替代品研究之趨勢。

三、微生物纖維素於脂肪替代品之開發及應用

纖維素與半纖維素存在於各種植物中，其來源極為廣泛，一般來說植物纖維素的纖維束寬度約在 10~50 μm ，若經化學或酵素之後端加工處理後，寬度可降至約 0.2 μm ，當應用於脂肪替代品時可利用吸水後形成三維網狀結構產生凝膠之方式，製備出與脂肪相似之質地口感，而微生物纖維素為一種生物聚合物，是以 β -1, 4 葡聚糖鏈組成，主要是由醋桿菌屬的革蘭氏陰性菌分泌而得，其分子結構與植物纖維素相同，但卻具有更高的純度、結晶度、熱穩定性、拉伸強度、葡萄糖單位數、聚合度、持水量及生物相容性，且纖維束寬度大約為 30nm，遠比植物纖維素來的細緻，易吸附各種原料且因結構緻密液體乘載量極高，目前被廣泛應用於生物醫學、食品、紡織等領域，針對微生物纖維素食品工業中的應用，可作為一種穩定劑

和增稠劑，用來改善產品的質地和口感，且因同時具備高溶解性，可提供良好的均勻性和穩定性，使得微生物纖維素成為許多食品加工過程中的理想添加劑，如醬料、肉品加工、飲料、乳製品、烘焙食品、果凍及冰品等。

目前食品中最常用的脂肪替代品除了蔗糖聚酯外，羧甲基纖維素 (CMC) 和羥丙基甲基纖維素 (HPMC) 也是較為常見的脂肪替代品之一，其主要皆是以通過吸收水分後增加黏稠度之作用原理，來模擬脂肪之質地口感，可賦予冷凍甜點和烘焙食品保濕性、滯留空氣、潤滑性和奶油感，然而此類添加物主要以化學合成獲得，且經研究發現 CMC 和 HPMC 作為食品中的增稠劑和穩定劑使用有其限制，其主因是 CMC 與 HPMC 與食品基質混合時較易有不相容問題產生，如易受到 pH、溫度和離子變化影響等，因此若想進一步提升低脂產品的產品質地與品質，則需尋找更佳之脂肪替代品。而微生物纖維素為天然可食原料，因具備較不受 pH、溫度及離子變化影響之特性，相較於目前常用之化學合成脂肪替代品，微生物纖維素更加適合應用於低脂產品中。近年有研究利用微生物纖維素取代植物肉所使用的植物油及動物油，其文獻中所評估的植物來源包含椰子油、人造奶油及起酥油，動物來源包含牛油、奶油及豬油，最終經由感官品評統計結果得知，當微生物纖維素取代植物肉內 50% 的起酥油時，其質地口感並不會有任何差異 (Lee & Han, 2024)。而另外也有研究將微



圖一、微生物纖維素低脂冰淇淋 (a)：巧克力口味，(b)：香草口味

生物纖維素應用於耐咀嚼餅乾產品，主要是針對餅乾中之大豆油進行取代，由文獻最終結果顯示將微生物纖維素與竹筍纖維進行適當比例混合後，於不影響餅乾原始口感之條件下可取代 35% 大豆油，不僅可減少脂肪含量同時也提升膳食纖維含量 (Xie et al., 2021)，綜合上述顯示微生物纖維素於脂肪替代之潛力優異。

四、本中心研發成果

微生物纖維素因優異的物理化學和機械性能而受到廣泛關注，其因結構特殊可帶高水量且同時具有持水能力強之特性，相較於植物纖維，微生物易生產高純度纖維，屬一種奈米等級纖維，有助於乳化效果提升，且因結晶度高，易形成分子內及分子間之氫鍵，與蛋白質基質具有良好的相容性，更易與蛋白質結合形成二級結構，有效提升乳化穩定性，此外，微生物纖維素性質穩定，對於溫度、pH 及離子強度有較佳耐受性，可提升乳化穩定性，因此，本技術利用上述各種特性，進行微生物纖維素於脂肪替代品之開發，並且以低脂冰淇淋作為產品開發目標，主要針對微生物纖維素進行後端加工處理，生產

出各種不同規格之微生物纖維素脂肪替代品，於各規格中篩選最適合應用於冰淇淋產品之組別，將其進行乳化穩定性及膠體穩定性之評估，評估方式以穩定性分散儀進行分析，而依照實驗數據顯示，最佳規格之乳化穩定性可維持於 TSI < 3 條件下約 10 小時，與無添加微生物纖維素脂肪替代品組別相比，乳化穩定性可提升約 6 至 12 倍，另外，於靜置 24 小時後進行檢測，膠體穩定性達 94.12%，乳化穩定性達 90.59%，而實際將微生物纖維素脂肪替代品最佳組別，應用於低脂冰淇淋產品，經配方調整後冰淇淋之鮮奶油取代率可達 100%，進行成分分析後確認脂肪含量降至 3% 以下，符合衛服部食品標示法規明訂之低脂產品標準，另外，利用感官品評測試進一步確認冰淇淋質地口感喜好度，而品評結果為鮮奶油取代率 100% 之組別較佳，最終將品評最佳組別進行物性分析儀檢測，分析微生物纖維素低脂冰淇淋之質地特性，由實驗結果確認融化率達 8.51%，硬度達 18.79 N，黏聚性達 0.27、膠著性達 4.5 N、咀嚼性達 5.56 N、黏性達 2.04 N，可看出添加微生物纖維素之冰淇淋具有有效降低融

化率，並提升冰淇淋硬度及各項質地口感特性，可解決低脂冰淇淋質地口感不佳且易融化之問題，同時也大幅降低食品添加劑之使用量，目前已利用調整配方設計方式，生產出巧克力口味及香草口味之微生物纖維素低脂冰淇淋，且質地特性與市售商品相比皆有明顯之提升，試製產品如圖一所示。

五、結語

本技術利用不同微生物纖維素後端加工製程，生產出不同規格之微生物纖維素並分別與蛋白質及植物油結合，篩選膠體穩定性及乳化穩定性較佳之規格，將其應用於低脂冰淇淋開發，利用田口實驗設計配方並以質地特性、融化率及感官品評做為評估指標，開發可 100% 取代鮮奶油之微生物纖維素脂肪替代品，使微生物纖維素低脂冰淇淋達到無添加食品添加劑及鮮奶油之效果，於產品融化率可有效降至 8.51%，質地特性指標如硬度、黏聚性、膠著性、咀嚼性、黏性等皆有明顯之提升，而微生物纖維素脂肪替代品不僅可應用於冰淇淋產品，其應用範圍更可擴大至飲料業、肉品業、乳製品等其他類型之替代食材作為應用。

六、參考文獻

- 李倩文。2023。食品科技。pp53-61。
- Lee, S.J. & Han, J.J. 2024. Food Research International. 176:1-12.
- Xie, YX. et al. 2021. LWT - Food Science and Technology. 148:1-8.

微藻蛋白萃取及精製分離技術

生資中心 / 研究員
黃喬盈

一、前言

蛋白質是維持人體生命必須的營養素，根據聯合國報告指出，2050年世界人口預計達到98億，為了支持人口的發展並實現永續發展目標，必須尋找可補充人們飲食中動物蛋白產品的替代蛋白質來源。近年來，許多類似肉產品 (meat analogues) 供應量的快速增加，像是微生物蛋白 (微藻、酵母菌、真菌等)、昆蟲蛋白、細胞蛋白、實驗室培養蛋白，用其作為肉類替代、乳製品替代等，估計全球在2035年對於不同來源替代蛋白的需求將達到2,900億美元 (Severo et al., 2024)。雖然動物蛋白本屬於人類飲食中很重要

的營養來源，可提供植物性蛋白所缺乏的特定胺基酸和必需微量營養素，但傳統動物來源的蛋白質，需要大量的土地及淡水資源，同時排放較多的溫室氣體，且動物蛋白相較於其他來源，容易受到微生物汙染和人畜共同傳染病的生物性危害，再加上近年傳染性疾病的爆發與流行，讓人們更加意識到健康和營養保健的重要性，種種因素均導致消費者轉向素食或彈性素食，進而推動了替代蛋白市場的成長。

二、蛋白質在食品系統之技術功能

蛋白質除了是人類非常重要的營養素之外，也是食品中主要

的結構和功能性成分，可將蛋白質分為生物系統和食品加工的技術功能。蛋白質於生物系統是維持身體的代謝活動，例如在細胞維持、生長和修復扮演著關鍵的角色。此外，蛋白質也是食品配方中非常重要的成分，因為其溶解性 / 懸浮性、保水 / 持油能力，或是這些特性的組合，會造成蛋白質在食品中作為增稠、凝膠、乳化或起泡等功能上的差異，進而影響產品的感官特性，如外觀、風味、顏色、氣味和質地等，使其在食品加工的技術功能方面同時佔有舉足輕重之地位。

動物蛋白過去一直是常被用於添加及應用在食品系統，以製造出各種食品，如表一所示，這些常用於食品加工的動物蛋白，例如乳蛋白中的酪蛋白和乳清，可提供食品基質的粘度和穩定性。蛋清用於形成網絡，使食品在攪打和加熱過程中保持穩定性。因此，替代蛋白為了真正能

表一、食品系統所需要的蛋白質功能

食品系統	功能特性	動物蛋白類型
飲料	溶解性、顏色	乳清蛋白
焙烤食品	乳化、發泡、凝膠	酪蛋白鹽 (caseinate)、蛋清、乳清
乳製品替代品	乳化、發泡、凝膠	酪蛋白鹽 (caseinate)、蛋清、乳清
蛋替代品	發泡、凝膠	蛋清、乳清
肉製品	乳化、發泡、凝膠	酪蛋白鹽 (caseinate)、蛋清、乳清
湯品和肉汁	粘度、乳化、吸水	酪蛋白、乳清
醬汁	乳化、起泡	酪蛋白，蛋清
打發形式的甜點	乳化、發泡、凝膠	酪蛋白鹽 (caseinate)、蛋清、乳清
低脂乳製品	增稠、凝膠	明膠

(整理自 Al-Ali et al., 2021)

達到所謂“替代”的目的，除了考量永續環保、成本和應該具有理想的營養品質之外，另一項重要的關鍵就是在以食品配方的角色摻入在食品系統中是否能完美取代原本動物蛋白的功能特性(Al-Ali *et al.*, 2021)。舉例而言，要做到牛乳替代，蛋白在溶解性和乳化特性就十分重要。

目前國外市場所開發的無動物成分食品，在蛋品方面，有使用綠豆蛋白加工製成的液態植物蛋，亦有使用酵母菌蛋白所製成的純素水煮雞蛋，還有混合豌豆澱粉和植物蛋白製作的植物蛋等產品。在乳製品方面，有使用多種以上的植物性原料及益生菌混合作用而產生的植物性優格，也有利用微生物發酵技術產生無動物成分的蛋白質製成酪蛋白及乳清，再開發成飲品和乳製品(食品所 ITIS 團隊，2019)。

三、微藻蛋白的優勢及其產品

微藻作為替代動物性蛋白來源具有顯著的優勢，因為它們可不依賴耕地，可在開放式和封閉式系統中生長，且因富含蛋白質、脂質和色素，同時生產生物質和高價產品。以微藻生物質而言，通常含有 40-70% 的蛋白質，12-30% 的碳水化合物，4-20% 的脂質，8-14% 的類胡蘿蔔素和維生素 B₁、B₂、B₃、B₆、B₁₂、E、K 和 D，尤其富含蛋白質，在數量和質量方面可媲美傳統食物蛋白質，如大豆、蛋和魚，使得單細胞生物可成為食物蛋白的潛在來源。此外，微藻

細胞中含有各種生物活性成分，如 DHA、EPA、抗氧化劑，且富含鉀、鐵、鎂、鈣和碘等礦物質，亦提供了額外的健康益處。以蛋白質含量為例，螺旋藻屬依據藻株差異含有 50-70% 的蛋白質(Plaza *et al.*, 2009)，而杜氏藻(*Dunaliella*)與目前所種植的傳統植物和畜養的動物相比，每單位面積蛋白質的產量可以增加 50-100 倍。

蛋白質所占的百分比主要取決於藻種(species type)以及生長期的培養參數，如鹽濃度、光照、溫度、pH 等，並且可透過營養調整和環境壓力來改變，被認為是可持續蛋白質的絕佳來源。關於微藻蛋白的胺基酸組成，除了受到培養參數條件的影響外，不同物種之間存在很大的差異。大多數微藻物種含有所有必需胺基酸，使它們成為蛋白質的完整來源，不像某些植物蛋白可能缺乏特定必需胺基酸，如色胺酸(Trp)、離胺酸(Lys)或甲硫胺酸(Met)。微藻來源的蛋白質產品可根據其蛋白質含量和精製程度分為全細胞蛋白質、蛋白質濃縮物、分離物、水解產物和生物活性肽。為了獲得不同精製程度的蛋白質產品，通常會針對微藻細胞進行細胞破碎後，進行蛋白質萃取、精製分離或酵素處理等步驟，目前使用微藻作為替代蛋白質的來源，其中以螺旋藻(*Spirulina*)和小球藻(*Chlorella*)在微藻市場上佔主導地位，這兩種藻大多都是以全藻體(單細胞蛋白質)，以膠囊、錠劑或是粉末形式作為膳食補充劑或食品配料的形式銷售。

四、微藻蛋白生產製程技術

為了提升蛋白粉的純度，以應用於食品加工系統，近年來有許多創新的蛋白質萃取技術，像是超音波萃取、高壓加工、脈衝電場、微波萃取等，用於細胞破碎、乾式和濕式萃取/分離蛋白質。乾式萃取技術，在萃取和純化過程之前，通常先經研磨和萃取油脂的前處理步驟，然後進行空氣分級，利用粉體粒徑的大小、比重等作區分，使蛋白質顆粒在旋風式分離器中與澱粉顆粒和纖維分離出來。乾式萃取與分離方法的產量較高、但純度較低，僅為蛋白濃縮物規格，或原物料磨粉規格；而濕式萃取與分離流程，雖然處理步驟較多、成本較高、產率較低，但相較於乾式方法能獲得更高的純度(Pojić *et al.*, 2018)。

傳統蛋白質的分離是經由一系列單元操作所組成，包括水萃、離心、等電點沉澱、洗滌、中和及乾燥。影響蛋白質功能特性差異的原因，除了原料種類之外，主要是蛋白在萃取和分離過程，不論是乾式或是濕式分離，通常涉及高溫、剪切力或溶劑的使用，使得過程中產生極端 pH、溫度和鹽濃度的變化，導致蛋白發生一定程度的變性、交聯甚至水解，使蛋白質空間結構展開或被破壞，影響蛋白表面疏水性、分子大小/形狀、結構、胺基酸組成和序列等，導致其功能特性上的差異，進而使產業的應用受到限制。

植物基肉製品和乳製品等非動物性蛋白產品雖然已經存在消

農畜產循環資源開發降血壓胜肽之技術

生資中心 / 副研究員
傅威昌

一、前言

食品加工過程中產生的大量副產物和廢棄物，不僅帶來了嚴重的環境問題，同時也是寶貴資源的浪費，透過循環經濟概念將資源和廢棄物再利用，實現經濟和環境的雙重收益，成為當前熱門研究主題，而源自食品加工副產物的食源性肽（Bioactive Peptides, BP）在食品、化妝品和製藥領域有廣泛關注和應用，其中通過轉化副產物生產具有高附加價值的機能胜肽，尤其是 ACEI（Angiotensin-Converting Enzyme Inhibitory Peptides）降血壓肽，展現出廣闊的應用前景。

ACEI 降血壓肽是一類具降血壓功能的生物活性肽，可通過抑制血管緊張素轉換酶（ACE）的活性，減少血管緊張素 II 的生成，從而達到降低血壓的效果。隨著高血壓患者數量的不斷增加，開發天然、安全且高效的降血壓產品變得尤為重要，而 ACEI 降血壓肽可通過多種途徑獲得，許多食品加工副產物，例如雞肉、大豆、乳清和魚皮中富含蛋白質和多種生物活性化合物，經適當的處理方法可以提取出 ACEI 降血壓肽。目前食品加工副產物的轉化方法，主要為酵素水解法和微生物發酵法，其中酵素水解法因其高效性和特異性，利用特定

酵素對蛋白質進行定向水解，得到具有 ACE 抑制活性的活性胜肽，例如杏仁、桃核、李子核等水果種子中含有豐富的蛋白質，經過適當酵素水解即可提取出可觀的 ACEI 降血壓肽，而發酵法則是利用微生物（例如乳酸菌）的發酵作用，將加工副產物中的蛋白質轉化為具有 ACE 抑制活性的胜肽，且發酵過程中不僅能產生 ACEI 降血壓肽，還能生成其他有益的代謝產物，提高產品的附加價值。

綜上所述，通過酵素水解和微生物發酵方法，將食品加工副產物轉化為高附加價值的 ACEI 降血壓胜肽，不僅符合循環經濟的理念，也有助於減少環境污染，創造經濟價值，並為高血壓等慢性疾病的預防和治療，提供一種可持續的解決方案，但目前的活性胜肽生產技術仍未成熟，儘管上述的酵素水解和微生物發酵方法，於實驗室和中間工廠試驗規模上已取得一定成果，但仍需克服一系列挑戰，包括提高胜肽的提取效率、降低生產成本及確保產品的安全性和穩定性，因此未來的研究應著重於技術的改進和製程的優化，以實現 ACEI 降血壓肽的大規模生產和應用。

二、降血壓肽提取方法

提取降血壓肽的方法眾多，

包括酵素水解、微生物發酵、化學水解和物理方法，不同的提取技術在效率、成本、產量和活性等方面各有優劣，對應提取的原物料，選擇合適的方法至關重要，因此針對提取方法的原理和特點進行分析，並簡述如下：

➤ 酵素水解

酵素水解是利用蛋白酶將蛋白質降解為多肽的一種方法，通過控制酵素的種類、用量、溫度、pH 值和反應時間，可以獲得不同的多肽組成，常用的酵素種類包含鹼性蛋白酶、中性蛋白酶、胃蛋白酶、胰蛋白酶和膠原蛋白酶等，其反應條件溫和，通常於中性 pH 值和較低的溫度下進行，水解過程高度可控，可針對性獲取特定生物活性肽，但酵素水解也存在一定的劣勢，主要為酵素成本偏高，且水解產物的純化和分離困難，增加了製程複雜性，因此在成本控制和製程優化方面，酵素水解仍需進一步探索。

➤ 微生物發酵

微生物發酵是利用微生物及其酵素系統，將蛋白質降解為生物活性肽的一種方法，常用的微生物包括乳酸菌、酵母菌和真菌，其操作簡便，無需額外添加酵素，依靠微生物發酵過程自然產生酵素進行蛋白水解，適合大規模工業生產，此外微生物發酵能夠生成多種複合酵素，產生種類豐富的生物活性肽，且原料適用範圍大，但發酵條件的控制較為複雜，容易受環境因素影響，導致批次發酵效果不穩定，此外發酵過程會產生許多代謝副產物，需要進一步純化分離，增

加了成本和製程難度。

➤ 化學水解

化學水解是利用酸鹼將蛋白質水解成多肽的方法，常用的化學試劑包括鹽酸、氫氧化鈉…等，其水解優勢在於反應速度快，適合高通量生產，且無需昂貴的酵素制劑，成本低廉，但化學水解反應條件苛刻，通常需要高溫或強酸強鹼環境，容易導致生物活性肽的結構變性或降解，影響最終產物活性，同時化學水解產物中含有大量的無機鹽和其他副產物，除需要進行鹽析處理外，水解過程中產生大量廢液，須妥善處理避免環境污染。

➤ 物理方法

物理方法主要包括超音波處理、高壓處理和膜分離技術…等，利用物理手段對蛋白質進行處理，以提高其水解效率或直接分離純化生物活性肽，其反應條件相對溫和，可有效保護肽活性，且無化學污染和副產物生成，但物理方法的設備成本高、操作複雜，其生產效率受到多種因素影響，需要專業技術人員進行操作和維護，精確控制實驗條件，因此設備的優化是物理方法的關鍵。

三、潛力副產物資源

食源性肽是通過對食用蛋白進行酵素水解、分離和純化等製程的新型蛋白水解產品，依據過往研究結果，研究人員從不同來源蛋白質水解產物中分離出多種生物活性肽，例如抗氧化肽、降血壓肽、降血脂肽、免疫調節肽和抗菌肽等，因其安全性

高、廣泛的生理調節作用，成為營養健康產業的熱點，其中可作為 ACEI 降血壓肽提取原料的標的眾多，具體潛力原料分述如下：

➤ 魚產加工副產物

魚類加工產生的副產物，如魚皮、魚骨等，通常被製成魚飼料或直接掩埋，並未妥善再利用，而魚皮、魚骨來源廣泛、易於加工，且生物安全性高，富含膠原蛋白，經過酵素水解後可生成多種功能性肽，其中包括具有 ACE 抑制活性的降血壓肽，例如：Ngo 等，從太平洋鱈魚皮中分離純化了 ACEI 降血壓肽，通過多種蛋白酶的水解分析，發現以胰蛋白酶 (trypsin) 水解魚皮所得肽，其 ACE 抑制活性最高，IC₅₀ 為 6.9 μmol/L；Yang 等，通過酵素水解法從阿拉斯加鱈魚皮中得到具 ACE 抑制活性的活性肽，IC₅₀ 為 108.5 μmol/L；Lee 等，通過分析 6 種蛋白酶水解鱈魚皮所得到的 ACEI 降血壓肽中發現，胰凝乳蛋白酶水解肽的 ACE 抑制活性最高，經分離純化後得到兩個主要多肽，其大小分別為 975.38 Da 和 874.45 Da，相應的 IC₅₀ 分別為 95 μmol/L 和 148 μmol/L。

➤ 禽畜加工副產物

國內禽畜養殖和加工業發達，而加工產生的皮、肉、骨及內臟，富含蛋白質、脂肪和其他營養素，利用禽畜加工副產物製備功能性肽，其成本低、產率高，且胺基酸成分分析結果顯示，禽畜來源蛋白中丙氨酸、甘氨酸、谷氨酸和脯氨酸含量較高，尤其脯氨酸等疏水性胺基酸的含量高，有

利於製備 ACE 抑制活性多肽，例如：胡鑫等，將豬血蛋白經鹼性蛋白酶水解後，再以分子篩過濾純化，獲得 ACE 抑制肽；Jang 等，從牛肉水解物中提取纈氨酸-亮氨酸-丙氨酸-穀氨酰胺-酪氨酸-賴氨酸序列多肽，於口服給藥自發性高血壓大鼠檢測實驗中，對收縮壓有顯著降低作用；Banerjee 等，研究發現牛跟腱膠原蛋白經細菌膠原酶水解後，產生了 ACE 抑制肽，且經體外胃蛋白酶、胰蛋白酶和糜蛋白酶消化測試後，ACE 抑制活性仍可保持 80%。

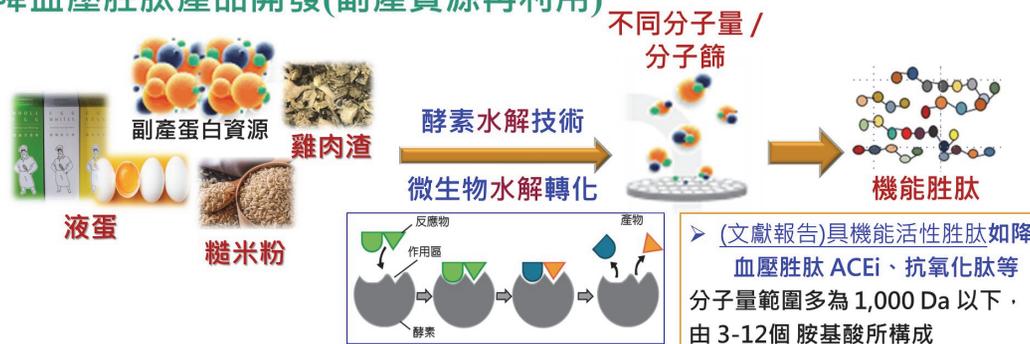
➤ 農糧加工副產物

農糧加工副產物如豆渣、米糠等，雖然蛋白質含量相對較低，且經過酵素水解後容易產生異味、苦味和不良質地，但其具有生產成本低及友善環境的優勢，例如：Peng 等，利用綠膿桿菌發酵生成蛋白酶，高效水解小麥蛋白，生成具有強 ACE 抑制力的多肽；Chen Jiwang 等，從米蛋白水解物中獲得數段多肽，經體外試驗分析後，發現對自發性高血壓大鼠的 ACE 抑制性不強，但可以通過與 NO 系統耦合的新途徑，放鬆腸系膜動脈，繼而表現出血管舒張活性，降低血壓。

四、食品所研究成果

根據市場調查研究報告指出，2025 年全球營養保健品市場規模將增長到 404 億美元，年複合成長率為 7.2%，其中蛋白質與肽產品市場持續蓬勃發展，但市場缺乏機能性肽生產技術，尤其是副產物再用於機能性肽生產方面。針對相關需求，本

降血壓胜肽產品開發(副產資源再利用)



▶ (文獻報告)具機能活性胜肽如降血壓胜肽 ACEi、抗氧化肽等分子量範圍多為 1,000 Da 以下，由 3-12個 胺基酸所構成

▶ 目前降血壓胜肽製備方式

商用酵素水解	微生物水解 (GRAS菌株)	化學合成法	強酸水解法
成本高	成本低 易規模生產	成本高	成本低
水解速度快	水解速度慢	副產物多	水解完全
胜肽總量高	活性胜肽多	可合成任意肽	生物活性低

- ▶ **機能性**：易分離萃取，且目前業界缺乏機能胜肽分析平台。
- ▶ **安全性**：為天然原料經可食用菌株與水解酵素轉化而成。
- ▶ **穩定性**：水解參數易於調控，品質與產量穩定。

結合商用酵素與微生物水解 2者優點，進行機能胜肽產品開發

圖一、食品所 - 降血壓胜肽產品開發

所開發了一種降血壓胜肽生產製程(圖一)，以農、畜加工副產原料，例如雞肉渣、糙米粉、液蛋、乳清、豆渣...等，複合關鍵商用蛋白質水解酵素與微生物輔助優化製程，產製具有 ACE 抑制活性的機能胜肽，或具有抗疲勞功效的支鏈胺基酸 (BCAA)，整體技術兼具機能性、安全性與穩定性，製程操作簡便，水解參數容易調控，產物活性品質穩定，相較於目前市售產品具有低成本、製程差異化與競爭優勢，可

進一步加值開發成多元的保健產品，有利於提昇本土農畜產經濟產值。

五、參考文獻

胡鑫。2009。肉類研究。23(2): pp21-24。
Banerjee, P. 2012. Process Biochemistry. 47(12): 2335-2346.
Chen, J. et al. 2013. Journal of Functional Foods. 5(4): 1684-1692.

Jang, A. et al. 2005. Meat Science. 69(4): 653-661.
Lee, JK. et al. 2011. Food Chemistry. 125(2): 495-499.
Ngo, DH. et al. 2016. Process Biochem. 51(10): 1622-1628.
Peng, Z. et al. 2020. Journal of Functional Foods. 2(65): 103-111.
Shobako, N. et al. 2020. Nutrients. 12(10): 3060.
Yang, GL. et al. 2021. Journal of Food Science. 86(6): 2457-2467.

生物資源保存及研究簡訊 第138期

發行者：財團法人 食品工業發展研究所
發行人：廖啓成所長
主編：陳倩琪
編輯：吳琰奇、許璿文、黃喬盈、吳明德

本著作權依補助契約歸屬財團法人 食品工業發展研究所

地址：新竹市食品路 331 號
電話：(03)5223191-6
傳真：(03)5224171-2
承印：國大打字行
電話：(03)5264220
ISSN：1021-7932
GPN：2009001214
中華郵政新竹誌字第0030號
交寄登記證登記為雜誌交寄

