

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

中華民國 113 年 9 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

- ◎ 本土乳酸菌庫及其應用
- ◎ 豆類產物來源新型益生質之開發技術
- ◎ 精準調控微生物油脂特定脂肪酸比例之生產技術
- ◎ 生物轉化於果渣資材之低聚糖製備技術
- ◎ 漆酶生產菌及其發酵培養技術
- ◎ 脂肪醛類風味化合物之生物轉化技術

本土乳酸菌庫及其應用

生資中心 / 副研究員 / 副研究員 / 研究員 / 研究員
鄭傑仁 / 宋璧君 / 林錫杰 / 王俐婷

一、前言

微生物無所不在，其中乳酸菌與我們的健康和生活息息相關。乳酸菌作為益生菌，功能多元，具有維持正常腸道菌相、促進免疫調節及代謝作用、調節神經系統及牙齒皮膚保健等功能，特別是免疫調節，之前的新冠疫情讓人們認識到乳酸菌及腸道菌群對人體健康的影響和重要性。乳酸菌於食品開發的歷史淵遠流長，除了作為保健食品原料，還

可以加強食品保存性、改善風味質地及提升營養品質，已廣泛應用於乳製品、肉製品、醬醃蔬菜製品等各類發酵食品中。食品研究所生物資源保存及研究中心 (BCRC)，多年已從臺灣各地採集之樣品分離保存多樣性菌株，建構本土乳酸菌庫，可推廣及應用於各式發酵食品開發領域 (圖一)。本文介紹生資中心提供產學研界乳酸菌相關服務，以及實際利用已建構之本土乳酸菌庫，開發相關發酵食品。



圖一、本土乳酸菌庫及其相關技術服務和產品開發

二、本土乳酸菌庫及菌種鑑定整合服務

乳酸菌是指能夠代謝糖類、產生 50% 以上乳酸的細菌，種類繁多約有 600 多種，但可作為食品原料只有約 30 多種（如雙歧桿菌、乳酸桿菌等），相同菌種但不同菌株的功能或效果也不一樣。國內產業所使用的乳酸菌菌株大多仰賴進口，由於國際生物資源之取得與流通規範愈趨嚴格，商業使用限制多，導致合法可供商業開發之生物資源十分有限，產業迫切需求台灣本土且具新穎性的菌株。

1. 本土乳酸菌庫

為拓展本土乳酸菌資源的收存，根據開發不同類型產品的要求，菌株可能需要在高酸、高鹽、高滲透、或是高溫的情況下存活，菌株的特性也會受到所在環境的影響，因此 BCRC 多年從台灣各地環境採集不同種類的樣品，經由分離保存、菌種鑑定、功能評估等技術平台，建置台灣本土乳酸菌庫。菌株具多樣化，超過 20 個菌屬，包括乳酸桿菌屬、雙歧桿菌屬和乳酸球菌等相關菌種，也包含在衛福部「食品原料整合查詢平臺」或歐洲食品安全局「歐盟食品及飼料用安全認可 QPS」所列菌種，可應用於食品領域。

本土乳酸菌庫豐富且具多樣化，應用領域廣泛，包括分離自海洋環境來源之底泥、生物體等，菌株具有耐鹽、耐滲透性，可應用在發酵產品；健康嬰幼兒、孕婦、成人等人體腸道來源，菌株可應用在保健食品；動物性來源之禽畜類如豬雞或保育鳥類等，菌株可應用在經濟動物或寵

物的飼料產品；植物性來源之蔬果、咖啡或牧草飼料等，菌株具有產酸、耐鹽、耐滲透性和溫度適應性，可應用在發酵產品；食品來源之發酵醃製品、麵團、白麴、乳品等，菌株可應用在發酵產品。

2. 菌種鑑定整合服務

由於世界各國對微生物使用的管理法規日趨嚴謹，菌株要做為食品原料或食品添加劑之前，需進行微生物鑑定和安全性評估，如衛福部的健康食品或美國 FDA 的 GRAS 認證。BCRC 因應產業需求，建立可提供菌種鑑定整合服務的技術平台，包括分離培養保存技術：可協助法規要求使用菌株應長期保存之服務；菌種鑑定技術：可確認菌株身份的正确性和安全性；菌株分型技術：可證明功效菌株的專一性；基因體安全性評估：從菌株全基因體序列尋找抗生素抗性基因、致病性基因和毒力因子等，可確保菌株的安全性和食用安全。協助顧客確認其產品菌株的身份及安全性，支援產品安全品保，協助符合法規要求，取得認證，加速新產品上市及出口時程。

三、咖啡製造之應用

咖啡果實於採收後，曾經由不同方式如日曬法、水洗法及蜜處理法等後製處理，藉由乾燥及發酵製程等，調製出不同的咖啡風味。控制咖啡果實後製過程中的環境溫度、濕度、氣體組成、pH 值、微生物、時間等條件，可提升咖啡果實發酵的風味。目前有許多咖啡莊園已開始嘗試利用乳酸菌改良咖啡發酵製程，以期待能產生更加良好的風味。

1. 咖啡發酵過程常見的乳酸菌包

括 *Leuconostoc*、*Fructobacillus*、*Weissella*、*Lactobacillus*、*Pediococcus*、*Lactococcus*、*Lactobacillaceae*、*Streptococcaceae* 及 *Enterococcaceae* 等菌屬。這些乳酸菌會以咖啡果肉中的糖作為發酵的能源。

2. 同型發酵乳酸菌曾經 Embden–Meyerhoff–Parnas 途徑，將糖先轉化為丙酮酸，最後轉化為乳酸。異型發酵乳酸菌則會通過磷酸酮醇酶 (phosphoketolase) 等途徑將咖啡果肉中存在的戊糖和己糖分解代謝成乳酸，乙酸、二氧化碳和乙醇等代謝物。再者，乳酸菌會代謝咖啡果肉中的檸檬酸鹽及分解氨基酸等，完成咖啡果脫膠作業。

3. 在風味變化上，生豆在發酵過程，檸檬酸鹽會代謝產生 2,3-丁二酮及丙酮，呈現出黃油的香氣。再者，乳酸菌在代謝氨基酸的過程中會產生丙酸乙酯、乙醛、苯乙醇和苯乙醛等能提升花果香氣的物質 (de Melo Pereira, G. V. *et al.*, 2020)。據巴西團隊研究發現，使用植物乳桿菌 LPB01 能縮短咖啡果肉的酸化時程，可將發酵時間從 24 小時縮短到 12 小時。選用合適的乳酸菌可以在加速發酵的同時，讓咖啡產生更多香氣。

4. 研發成果：

在咖啡後製的應用上，BCRC 已建立完整的試驗流程及分析方法，從本土乳酸菌庫探索及篩選，目前已獲得數株具有提高後製效率及改善咖啡風味潛力的菌株。本技術亦可協助業界，從篩選潛力菌株並搭配發酵調控，以開發獨特咖啡產品。

四、烘培用乳酸菌之分離與應用

酸麵種 (sourdough) 由麵粉加水起種後，經多次蓄養而成，影響品質的關鍵因素包括麵粉營養組成、發酵微生物群、發酵時間、溫度、麵團量、續養步驟等。酸麵團的 pH 值、麵包風味與麵團中微生物的組成有關連，其中以乳桿菌 (*Lactobacillales* spp.) 最為舉足輕重。

1. 酸麵團的微生物組成及作用

- a. 酸麵團的微生物群以酵母菌和產酸的乳酸菌為主，酵母菌主要提供發酵力及氣味成分，乳酸菌主要提供酸味物質及風味成分。常見的酵母菌包含 *Kazachstania humilis*、*Saccharomyces cerevisiae*、*Pichia* spp.、*Candida* spp. 等，而乳酸菌包含 *Fructilactobacillus sanfranciscensis*、*Lactiplantibacillus plantarum*、*Levilactobacillus brevis*、*Pediococcus pentosaceus*、*Companilactobacillus paralimentarius*、*Limosilactobacillus reuteri*、*Furfurilactobacillus rossiae*、*Leuconostoc* spp.、*Weissella* spp. 等；在某些麵團中也會發現醋酸菌的存在，如 *Acetobacter* spp.、*Gluconobacter* spp. 及 *Komagataeibacter* spp. 等 (Reese, et al., 2020；Calvert et al., 2021)。乳酸菌存在的種類遠高於酵母菌，數量上乳酸菌也為酵母菌的 10 至 100 倍之多。
- b. 乳酸菌在酸麵團中佔據主導地位，可產生種類眾多的有機酸，亦可生成各式樣的揮發性羰基化合物，如酯類、醇類、醛類等，可塑造出酸麵團迷人

的氣味。乳酸菌及酵母菌在酸麵團中共生時，會代謝產生有機酸、游離胺基酸等產物，改善麵包質地、增加香氣及延長保存期限。

2. 研發成果：烘培用乳酸菌庫之建立與應用

- a. 收集保存多種分離來源之乳酸菌菌株，且結合微生物組分析及培養體學的方式，進行多種樣品的乳酸菌分析、分離及純化，並藉由 MALDI-TOF 蛋白質指紋分析技術，快速鑑別乳酸菌的學名。
- b. 建立烘培用乳酸菌菌株的篩選平台，包括菌株生長特性測定、醣類利用測定及耐受性篩選、液態麵團篩選、液態酸麵團篩選等系統及風味分析技術 (SPME-GC-MS + HPLC)。建構具商業化潛力之本土商用菌庫，可協助台灣本土烘培或蒸炊業者發展具特色的差異化產品，拓展商機。對我國釀酒、釀造、乳品加工等產業也皆能受惠。
- c. 結合本土乳酸菌庫及酵母庫，可協助業者進行客製化魯邦液製程的建立，解決魯邦液難以量化及穩定化之難題。
- d. 可提供技轉技術包括烘培用乳酸菌庫之利用；烘培用乳酸菌菌株培養技術；魯邦液菌組配方；量化魯邦液生產製程；客製化特色魯邦液製程輔導等。

五、乳酸菌發酵豆類產品之開發

一般豆類含有總量約 30 ~ 60% 的碳水化合物、9 ~ 25% 膳食纖維和 19 ~ 36% 包含亮胺酸、賴胺酸等必需胺基酸的蛋白質。

另含有抗性澱粉、多酚和植物甾醇等具生理活性物質，是開發發酵飲料的合適素材。經乳酸菌發酵所開發的豆類飲料，可產生抗炎、免疫調節和代謝調節等具有生理活性的功效成分 (Patrycja & Małgorzata, 2022)。

1. 豆乳發酵常用的乳酸菌菌種

一般被分離的乳酸菌包括乳酸桿菌屬、片球菌屬、雙歧桿菌屬、乳球菌屬、鏈球菌屬和明串珠菌屬等。乳酸桿菌屬、明串珠菌屬、鏈球菌屬等菌種可被應用於產品的酸化，後續發酵菌種，如丙酸桿菌屬、短桿菌屬及腸球菌屬等，可製造出香氣、味道及改善質地 (Ayivi et al., 2020)。

2. 使用乳酸菌發酵豆乳具有改質作用

- a. 保鮮及改善風味：乳酸菌能降低發酵物的 pH 值，抑制腐敗細菌的生長，增強營養成分，改善食物感官特性。乳酸菌分泌的澱粉酶、蛋白酶和脂肪酶等酵素，可將多醣、蛋白質和脂質等水解，並將脂肪轉化為甲基酮、內酯、硫酯和羧基酸等化合物，從而產生優良風味。
- b. 增加營養素：可增加產品中礦物質和蛋白質的含量，合成葉酸、核黃素和維生素 B12 等維生素 B 群。減少低聚醣、單寧、蛋白酶抑制劑和植酸等的濃度，從而提高鈣、鐵和鋅的生物利用度。
- c. 加強抗氧化力：可提高抗氧化能力，從而增加抗自由基活性。
- d. 提高異黃酮之吸收率：乳酸菌產生之 β -葡萄糖苷酶能水解帶醣基異黃酮苷，以提高其吸收

利用率。

- e. 整腸及排便：發酵產物棉子糖，在人體腸道中能被雙歧桿菌、嗜酸乳酸桿菌等利用，有整腸和改善排便的功能，促進人體對鈣的吸收，並增強人體免疫力。
- f. 改善物性：有些乳酸菌菌株能生產胞外多醣，可以增加發酵豆乳之黏稠性，並改善其香氣、風味及整體的接受性。

3. 研發成果

利用本所乳酸菌株庫進行潛力豆類素材的生物轉換作用，開發健康美味的乳酸菌發酵豆類系列產品，具有改善腸道菌相或抗發炎等功效。

六、結論

利用乳酸菌發酵可以提高食品的營養價值、改善風味、增強抗氧化活性並延長保質期等。研究乳酸菌的主要代謝物及其對食品物理和化學特性及對功能和感官特性產生的影響，已成為開發發酵食品之顯學。爾後，亟應利用微生物檢測、分析技術，分子生物技術等，應用於新的潛力菌株篩選，並建構相關功能性乳酸菌菌株庫。於進行菌株代謝產物分析，菌株特異功效研究同時，

開發新型乳酸菌發酵食品及保健食品，亦為食品業於乳酸菌菌株研究領域的開發重點。

七、參考文獻

- Ayivi, R.D. et al. 2020. Lactic acid bacteria: food safety and human health applications. *Dairy* 1, 202–232.
- Calvert, M. D. et al. 2021. A review of sourdough starters: ecology, practices, and sensory quality with applications for baking and recommendations for future research. In *Peer J* (Vol. 9, p. e11389).
- de Melo Pereira, G. V. et al. 2020. Lactic acid bacteria: what coffee industry should know?. *Current Opinion in Food Science*, 31, 1-8.
- Patrycja, C. and Małgorzata, Z. 2022. Legumes and legume-based beverages fermented with lactic acid bacteria as a potential carrier of probiotics and prebiotics. *Microorganisms*10, 91-136.
- Reese, A.T. et al. 2020. Influences of Ingredients and Bakers on the Bacteria and Fungi in Sourdough Starters and Bread. *mSphere*, 5(1). LINK

\$840 億美元，且年均複合增長率 (Compound Annual Growth Rate, CAGR) 約為 7.40% (Manjiri Kanhere, 2024)。特別中國和日本等亞洲市場的更是國際快速成長的區域。

豆類中包含碳水化合物、膳食纖維和蛋白質等重要營養成分，富含多酚和植物甾醇 (phytosterols) 等具生理活性物質，是開發新型益生質的合適素材之一。本文介紹藉由開發豆類之腸菌友善膳食 (microbe friendly diets) 和微生物相定向食品 (microbiota-directed foods, MDFs) 等設計技術，不僅大幅改善人類的健康，並可提供食品產業界新的商機。

二、豆類具有開發新型益生質之潛力

豆類原料除具有高蛋白質含量外，且含有大量膳食纖維、澱粉、維生素、礦物質及多種植化素 (phytochemicals) 等，堪稱是營養素均衡的食材。因富含多酚和植物甾醇等成分，能促進人體腸道益菌的生長。其中亦含有如寡糖、抗性澱粉等益生質，會被轉換為包括乙酸、丙酸和丁酸等短鏈脂肪酸 (SCFAs)。豆類不溶性膳食纖維則具有顯著的抗氧化、抗發炎和抗癌特性，能調節腸道微生物群組成、促進有益細菌生長、同時抑制有害病原體增殖的能力，從而促進腸道的健康 (Liu et al., 2024)。

以近期兩篇學術論文為例，由喀布爾 (Kabuli) 及德西 (Desi) 鷹嘴豆中所提取棉子低聚糖 (raffinose oligosaccharides, RFO) 可作為益生質的來源，除能夠促進乳酸菌尤其是乾酪乳桿菌 (*Lactocaseibacillus casei*，同種異名

豆類產物來源新型益生質之開發技術

生資中心 / 研究員
林錫杰

一、前言

腸道微生物相 (Microbiome) 可主宰人類健康，而調控腸菌

相是預防與治療疾病的關鍵所在。據市場調查分析，益生菌的市場規模由 2023 年的 \$440.5 億美元將會增加至 2032 年的

Lactobacillus casei) 生長外，具有抗氧化活性及抗食源性病原體作用，並能增加益生菌 - 植物乳桿菌 (*Lactiplantibacillus plantarum*，同種異名 *Lactobacillus plantarum*) 與人體腸道細胞的黏附效率 (Pandae *et al.*, 2024)。由印尼的爪哇等地所採集刺毛蠶豆 (Velvet Beans) 中，不可消化碳水化合物含量高，可增進植物乳桿菌和雙歧桿菌的生長。於餵食小鼠試驗後，發現會增加乙酸鹽和丙酸鹽等的短鏈脂肪酸的含量，並可增加擬桿菌屬 (*Bacteroides*)、螺桿菌屬 (*Helicobacter*)、雙歧桿菌屬 (*Bifidobacterium*) 和勞森氏菌屬 (*Lawsonia*) 等微生物的豐度，可改變腸道菌相 (Amalia *et al.*, 2024)。

三、食品產業之應用

豆類若能去除固有的豆腥味，其飲品樣態為消費者接受度高。Smriti & Snehasis 等 (2022) 從五組不同比例混合腰豆 (red

kidney bean) 及綠豆豆汁中，分別經以乾酪乳桿菌發酵後，從中篩選出以 7:3 比例混合者，除可獲得最高的益生質活性評分 (prebiotic activity score) 及腸胃道耐受性外，且具有抑制病原性大腸桿菌的效果。再者，作者也利用萃取製程最適化，將豆類中抗營養物質去除後，開發成合生飲等產品，並使之廣為推廣且健康化。

Fanghua 等 (2024) 亦發現鷹嘴豆及扁豆等豆類，含有的豐富抗性澱粉可作為益生質，添加於功能性食品中時有助於腸道健康。

益生菌發酵對豆類蛋白質組成、營養、功能、技術和感官特性等具有修飾的功效。尤其在豆類發酵過程中，如能考量原料成分的異質性、益生菌的多樣性，並搭配諸多發酵條件，則可提供含有如抗炎、免疫調節和代謝調節等具有功效的成分，於豆類發酵飲料的製作，以滿足消費者的需求。

四、食品所之相關研究成果

因人體腸道菌相非常複雜研究不易，食品所生物資源保存及研究中心日前已建構益生質效價 (Prebiotic index; PI) 之體外評估分析方法 (Palframan, *et al.*, 2003)，盼能與國際相關領域接軌。將豆類樣品經前處理條件加工後取得初萃物等樣品，藉由已建立 PI 值評估平台，開發具有 MDFs 豆類初級產品之素材庫。產出包括其原素材、副產物、初級加工品及含配方之產品。因豆類水萃物中含有多酚類化合物等，具有很高的益生質效價 (圖一)。

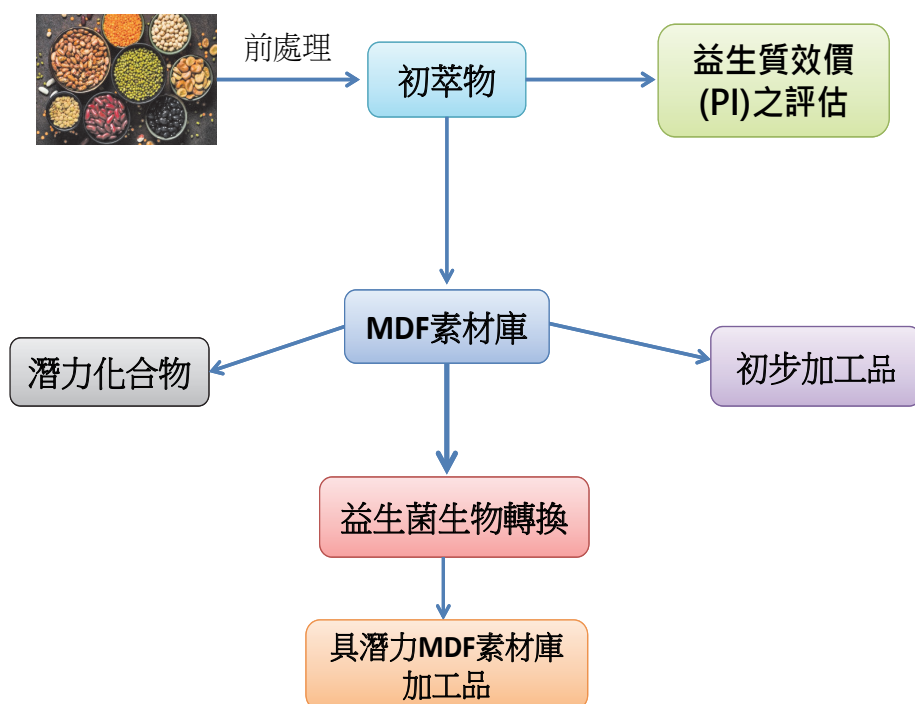
值得一提，在相關活性成分探討方面，使用豆類萃取物為原料，進行相關化合物純化及鑑定，已取得指標成分對雙歧桿菌 (*Bifidobacterium* spp.) 有促進生長的效果，期待爾後可開發成新型的益生質。

再者，使用本土分離乳酸菌株等益生菌，結合相關生物轉換技術，已開發具潛力 MDF 素材庫加工品數項 (圖一)。

以上，利用我國優質農業素材如豆類及其發酵食品，可開發具保健功效的高價 MDF，成為新一代益生質產品備選，並除訴求調理腸道菌相，改善人體健康指標外，亦能生產具有差異化產品，以增加農產品附加價值。

五、參考文獻

Amalia, E. *et al.* 2024. Investigating Untapped Potentials: Velvet Beans as Novel Prebiotic Sources and Their Effects on Gut Microbiota and Short-Chain Fatty Acid Level. *Applied Food Biotechnology*, 11 (1) e17.



圖一、利用豆類產物開發微生物相定向食品之流程圖。

Fanghua, G. *et al.* 2024. Unlocking the Nutraceutical Potential of Legumes and Their By-Products: Paving the Way for the Circular Economy in the Agri-Food Industry. *Antioxidants*, 13, 636.

Manjiri K. 2024. Probiotic Market Report (Global Edition) Report ID: CMR556343, Data Updated: June 2024, Edition: 8th.

Liu T. *et al.* 2024. Investigating the physicochemical characteristics and importance of insoluble dietary fiber extracted from legumes: An in-depth study on its biological functions. *Food Chem X*. 22: 101424.

Palframan, R. *et al.*, 2003. Development of a quantitative

tool for the comparison of the prebiotic effect of dietary oligosaccharides. *Letters in Applied Microbiology*. 37: 281.

Pandae, P.N. *et al.* 2024. Bioactivity and prebiotic properties of raffinose oligosaccharides derived from different chickpeas for alternative functional food application. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 31, 100412.

Smriti, C. & Snehasis, C. 2022. Evaluation of prebiotic properties of legume-based synbiotic beverages. *Journal of Food Processing and Preservation*. 46(2) DOI:10.1111/jfpp.16685.

之真菌脂肪；C16 Bioscience 透過改良產油酵母生產棕櫚油替代品；德國新創公司 GST 則以食品廢棄物為基質進行生產酵母油脂，以取代烘培產品中之油脂；Nurish Ingredients 透過精準發酵及代謝工程策略開發可取代動物油脂之替代油脂。

在眾多動物油脂中，豬油為國人作普遍使用之油脂，Song 等人 (2017) 指出 C16:0、C16:1、C17:1、C18:0、C18:1 及 C18:2 等脂肪酸為形成豬肉風味之前驅物，而豬油脂肪酸組成以 C16:0(18-25%)、C18:0(8-16%)、C18:1(34-50%) 及 C18:2(7-22%) 占比最高，在食品所 BCRC 開發的可食用酵母油脂中，主要脂肪酸組成為 C16:0(17.55%)、C18:0(4.19%)、C18:1(35.57%)、C18:2(21.82%)，初步欲以酵母油脂取代豬油，需提高 C16:0 及 C18:0 脂肪酸之佔比，因此進一步建構油脂精準發酵調控機制，使油脂主要脂肪酸組成與豬油類似且使油脂產量更加穩定。

三、發酵調控參數對微生物油脂之影響

多數產油酵母所生成之脂質主要為 C13-C21 之三酸甘油酯，而在不同培養條件下 (如碳源、氮源、碳氮比、溫度及溶氧等) 其脂肪酸組成也有所不同。多數產油酵母菌株產生脂質之機制是藉由限制培養基中營養成分濃度達到脂質累積。

1. 碳氮源

產油酵母在培養基中含有氮源情形下，細胞主要以合成蛋白質為主，當氮源耗盡，碳源濃度過高時，細胞停止合成蛋白質及核酸，逐漸轉成累積脂質。在菌

精準調控微生物油脂特定脂肪酸比例之生產技術

生資中心 / 副研究員
林玟縝

一、前言

飽和度較高的油脂能為食品增添濃郁的香氣、多汁性和豐富的口感，尤其是動物油脂，因其獨特的香氣而在食品中扮演重要角色。近年來，隨著全球植物肉產業的蓬勃發展，對替代油脂的需求也在逐漸增加。目前，為了提升植物肉的口感和多汁性，業界多採用棕櫚油和椰子油等高飽和油脂來取代傳統的動物油脂。

儘管高飽和度的植物油能為植物肉提供類似於動物油脂

的口感和功能性，但仍無法提供與動物油脂類似之香氣。此外，為了提升棕櫚油和椰子油的產能，需擴大栽種面積，這對環境造成嚴重破壞。因此，通過發酵微生物生產的油脂，作為動物脂肪的替代品，是一個值得投入開發的方向。

二、微生物油脂之開發現況

國際上目前有許多新創公司投入以微生物生產高飽和度油脂，以取代動物油、椰子油及棕櫚油為目標，如美國 Yali Bio 利用真菌模擬生產與動物油脂相似

株指數生長期階段，C18:2 脂肪酸比例較高，當生長進入穩定期，C18:2 脂肪酸逐漸減少，C18:0 及 C18:1 脂肪酸則逐漸增加 (Sitepu *et al.*, 2014)。

2. 溶氧 (DO)

較高 DO 對於多數產油酵母累積油脂具有正面效果，但根據不同產油酵母菌株，DO 與脂質累積的關聯性也有所不同，以 *R. toruloides* 菌株為例，充足的 DO 使菌體生長速率加快但同時脂質累積量會降低，因此需在菌體生長與油脂生產中找到最佳 DO 之控制條件 (Kraisintu *et al.*, 2010)。

3. 培養溫度

大部分產油酵母菌株在 30°C 環境下進行培養對生產脂質有良好效果，但少部分菌株在溫度變化下，油脂脂肪酸組成也會隨之改變，如 *R. toruloides* 及 *R. glaciali* 在較高的培養溫度易使菌株合成較高飽和度脂肪酸，反之培養溫度降低，油脂飽和度也隨之減少 (Amaretti *et al.*,

2010)。

四、本所研發成果

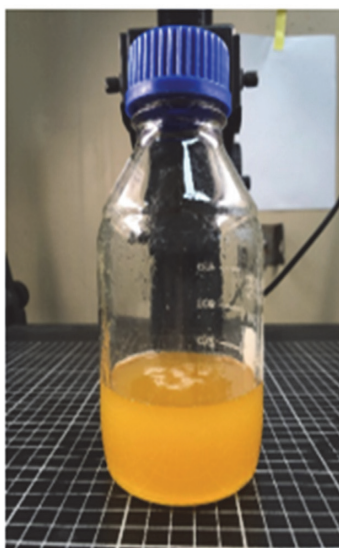
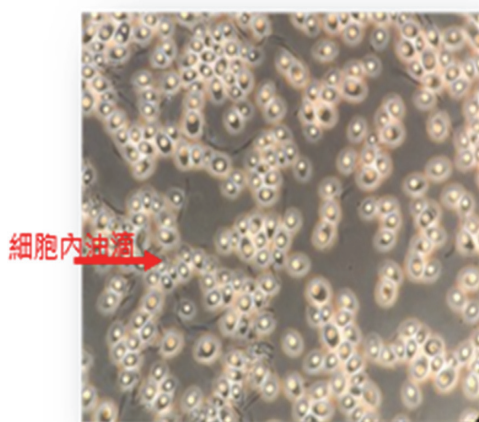
食品所 BCRC 在可食用微生物油脂探索上已有初步成果，進一步整合發酵技術及因子探討，系統性的探索各項因子對脂肪酸組成影響之數據資料，進一步解析歸納出產油量高、影響 C16:0、C18:0 脂肪酸組成之發酵調控參數，建立微生物油脂精準調控生產技術。

本所研究團隊透過篩選出的可食性產油酵母菌株，以 5L 發酵槽進行發酵因子探討，其中發現通氣量對產油酵母之產油量影響較大，而培養溫度與 pH 值對菌株油脂之 C16:0 與 C18:0 脂肪酸組成有明顯影響，透過所蒐集的發酵動態參數及脂肪酸指標，放大至 250L 發酵槽規模測試，建立 DO state 及 pH state 發酵模式，可使微生物油脂產量穩定達到 50% 以上 (每克菌體乾重)，進一步結合兩階段溫控培養策略，可精準調控油脂之指標脂肪酸 C16:0 達 20.65%、C18:0 達 8.3%，油脂飽和度達到 34 %，

且油脂產量可穩定達 50% 以上 (g/g 菌體乾重)，所建構之 250L 試量產規模生產模式，將有助於促進國內植物肉產業及替代油脂產業發展。

五、參考文獻

- Amaretti, A., Raimondi, S., Sala, M., Roncaglia, L., De Lucia, M., Leonardi, A. and Rossi, M. (2010). Single cell oils of the cold-adapted oleaginous yeast *Rhodotorula glacialis* DBVPG 4785. *Microb Cell Fact.* 9:73.
- Kraisintu, P., Yongmanitchai, W., Limtong, S. (2010). Selection and optimization for lipid production of a newly isolated oleaginous yeast, *Rhodospiridium toruloides* DMKU3-TK16. *Kasetsart J (Nat Sci)*. 44:436–45
- Sitepu, I. R., Garay, L. A., Sestric, R., Levin, D., Block, D. E., German, J. B. and Boundy-Millis, K. L. (2014). Oleaginous yeasts for biodiesel: Current and future trends in biology and production. *Biotechnology Advances* 32, 1336–1360.
- Song, S. Q., Tang, Q., Fan, L., Xu, X. D., Song, Z., Hayat, K., Feng, T. and Wang, Y.F. (2017). Identification of pork flavour precursors from enzyme-treated lard using Maillard model system assessed by GC-MS and partial least squares regression. *Meat Science*, 124, 15-24.



圖一、酵母油脂

生物轉化於果渣資材之低聚糖製備技術

生資中心 / 副研究員
洪怡芳

一、前言

面對全球市場競爭及產業結構升級轉型挑戰，為落實倡議聯合國永續發展目標整合發展，須往創新循環升級與永續發展拓展新思維。隨著食品原料升級再造 (upcycling) 概念的演進，發展機會與領域的多元化，其中，充分不浪費且高效的創新運用於農業和食品副產物，成為低碳食品設計的重要突破點。運用可循環食品副產資材，透過萃取、酶水解技術等取得木質纖維，分解成天然糖質，開發功能性低聚糖等高附加價值產品，傳遞副產物再利用的永續價值，落實綠色節能目的，為發展 SDG 決策。

功能性低聚糖 (functional oligosaccharides, FO)，又稱非消化性低聚糖 (non-digestible oligosaccharides, NDOs)，由於人體腸胃系統中沒有可以水解這些功能性低聚糖的酵素系統，因此它們不被消化吸收而直接進入大腸內，發揮其獨特生理功能。功能性低聚糖是食品、藥物、化妝品和保健品中不可或缺的成分，主要聚合度由 2-10 個相同或不同的單糖分子脫水通過 α 、 β 型糖苷鍵連接形成帶有支鏈或直鏈的低度聚合糖，具有較低的熱量，在生理上，功能性低聚糖可通過在腸道中發揮其生理功能來維持宿主健康。

功能性低聚糖來源可直接由天然植物萃取、物理或化學方

式水解、酵素合成外，還可以透過微生物所生產的糖基轉移酵素來製備，在工業生產規模上，以低聚果糖為例，其可以通過酵素或化學反應水解生產，或從蔗糖來源透過 β -呋喃果糖苷酶 (β -fructofuranosidase) 以及果糖基轉移酶 (fructosyltransferases) 的轉果糖基化 (transfructosylation) 合成。若低聚果糖的生產直接來自商用酵素 (inulinase) 進行水解，則會有價格高昂且更耕地面積大、水資源需求多，較不符合經濟與環保之疑慮。因而充分運用低成本的果渣資材，透過低碳水解製程，優選之微生物轉化生產的低聚糖類，可提升食品口感與延長產品架儲期。過去十多年來，低聚糖對腸道菌群的生理效應和調節已得到廣泛研究，證實低聚糖是益生質之一 (Costa et al., 2021)。具改善腸內菌叢等之機能效果之低聚糖類，使用於食品上可改善產品保水性、降低熱量、抑制齲齒、調節腸道菌群、增殖雙歧桿菌等功能，可應用於飲品、果凍和烘焙等產品開發上。

二、食品資材轉化益生質之產業現況

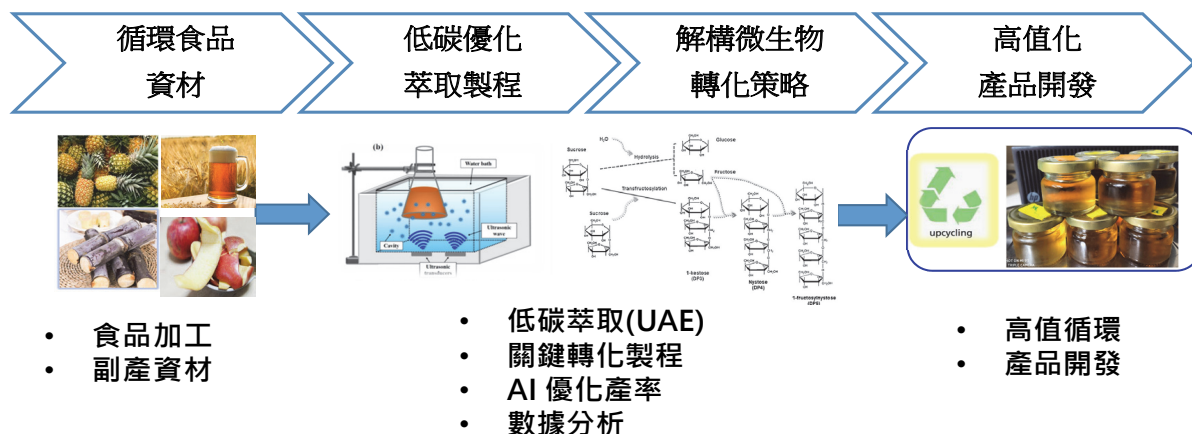
目前在歐美國家已有新創公司投入之研究，如 2022 年芬蘭 Fazer 的木糖醇工廠運用燕麥殼萃取木糖後，廢渣作為能源，達到永續循環目的；另外以色列新創公司 Better Juice 開發特定酶技術，訴求可將果糖、葡萄糖和蔗糖等

轉化為益生質和其他不易消化膳食纖維；加拿大 Comet Bio 以小麥、玉米秸稈等生物質為原料，研發膳食纖維 Arrabina 和甜味劑 Sweetera 兩款升級再造產品。相關成分為潛力益生質原料，近期獲人體實驗證實可活化腸道雙歧桿菌生長。由此顯示全球食品減碳、減糖與加值循環的行動正加速推展。食品所生資中心也投入相關領域進行研發，建立以果渣為發酵資材，篩選 GRAS 微生物作為轉化益生質功能之低聚糖技術。

三、微生物轉化低聚糖之製備技術

目前以微生物轉化生產的低聚糖主要用的酵素是果糖基轉移酶，可透過不同的細菌或真菌而得，其中真菌來源主要有：日本麴黴 (*Aspergillus japonicus*)、紅酵母 (*Rhodotorula* sp.)、青黴菌 (*Penicillium expansum*)、出芽短梗黴 (*Aureobasidium pullulans*)，細菌主要有運動發酵單胞菌 (*Zymomonas mobilis*)、節桿菌 (*Arthrobacter* sp.)、地衣芽孢桿菌 (*Bacillus licheniformis*) 等 (Suwimol et al., 2022)。但主要技術缺口是酵素轉化活性較低、且多為非食用菌株，因此實際應用於食品產業相對少；故篩選新穎與產量佳的微生物轉化酵素是一個非常重要的課題。

本所研究團隊以生物資源中心 (BCRC) 蒐集的生物資源為研發能量，從中篩選出 2 株具轉化低聚糖潛力之 GRAS 菌株 (*Limosilactobacillus* 與 *Saccharomyces*)，整合與建立關鍵微生物轉化製程、低碳萃取水解技術以及資料庫數據收集、演算與分析能量，建構可食用微生物轉化為低聚糖資料庫及演算資料



圖一、生物轉化於果渣資材之低聚糖製備技術途徑

模型，進行系統性開發生物轉化於果渣資材之低聚糖製備技術。透過整合微生物代謝糖的製程參數，完成 22 種轉化參數分析，包含 15 種製程參數以及 7 種觀測變數，以總還原糖與可轉化糖做監督型 AI 機器學習標籤，可提高轉化具益生質特性的低聚糖（聚合度 DP=3~5）效率；運用實驗設計與最佳化模擬技術，結合食品所長年在發酵轉化製程之技術優勢，將食品副產物資材應用觸角由廢棄物提升至高值化應用的低聚糖上，可擴大原有價值鏈，提升市場競爭力，更呼應全球低碳、永續與高值化之影響力（圖一）。

四、參考文獻

Alexandri, M. *et al.* 2022.

Sustainable Food Systems: The Case of Functional Compounds towards the Development of Clean Label Food Products. *Food*. 11 (18): 2796-2829.

Cano, M.E. *et al.* 2020. Production of Oligosaccharides from Agrofood Wastes. *Fermentation*. 6, 31-45.

Suwimol, C. *et al.* 2022. Functional Oligosaccharides Derived from Fruit-and-Vegetable By-Products and Wastes. *Horticulturae*. 8, 911-927.

Zou, Y. *et al.* 2021. Research Progress and Application Status of Functional Oligo-saccharides. *China Condiment*. 46(2): 180-185.

豌豆蛋白等植物蛋白製成的產品日益增多。而以這些植物蛋白製成的植物性食品，其質地仍待提升。此外，食品業對於生產營養需求的食物，同時為消費者提供令人愉悅的質地和口感的整體推動下，需要不斷開發改善蛋白質功能和調節蛋白質質地的新方法研究，使得可使蛋白質交聯的修飾酵素需求也隨之增加。使用酵素交聯作為一種特定的加工手段，可用於調節食品基質特性，保持產品質地。常見的蛋白質酵素共價交聯主要為轉醯基交聯（轉麩醯胺酸酶交聯）和氧化交聯。因此，投入使用酵素來促進蛋白質間共價交聯修飾等相關研究開發，可為新型態食品製造提供科學基礎與技術支援。本技術主要以漆酶為研究標的，由生產菌篩選並投入生產技術研究。

二、微生物漆酶及特性

漆酶 (laccase ; EC 1.10.3.2) 是一種多銅氧化酶，屬藍色多銅氧化酶家族 (MCO) 中最主要的成員，可催化多種酚類化合物的一個電子的氧化，同時將分子氧還原為水。這種酵素被認為是環保的，因為它需要分子氧作為催化的共同基質，並且產生水作為唯一的副產物。在擔子菌與子囊菌

漆酶生產菌及其發酵培養技術

生資中心 / 研究員
吳柏宏

一、前言

近年來，隨著健康意識的提高、對於飲食中減少糖、脂肪和非天然食品成分含量攝食的觀念，

及對不依賴動物來源的食品和蛋白質替代品的需求不斷增加，亦在友善動物與永續環境的浪潮驅動下，國際間以植物基為訴求之產品市場熱度大增。以大豆蛋白、

中均發現有大量的漆酶存在，其中在白腐真菌 (white-rot fungi) 中特別豐富，它們是唯一能夠降解整個木材成分的生物。真菌漆酶具備多種生理生化功能，如形態發生、真菌與植物寄主相互作用、應激防禦以及木質素降解。真菌漆酶是分泌型的糖基化蛋白質，具有兩個二硫鍵和四個銅原子，分佈在一個稱為 T1 的單核 (其中還原基質位置) 和一個三核簇 T2/T3 (其中氧結合併還原為水)。因此，電子從基質分子經由 T1 銅轉移到三核 T2/T3 中心。四個電子轉移後，三核中心的雙氧還原成兩個水分子 (Osma *et al.*, 2010)。大多數的漆酶都是真菌來源的，此外這種酶也在植物、昆蟲和一些細菌中發現。目前，在 BRENDA 綜合酶資訊系統，描述 300 多種漆酶，其中最多的是從能夠破壞木材的真菌中分離出來的，尤其是白腐真菌，如 *Pleurotus pulmonarius*, *P. ostreatus*, *Agaricus bisporus*, *Trametes versicolor*。典型的真菌漆酶是約 60-70 kDa 的胞外蛋白，酸性等電點約為 pH 4.0。具有糖基化的蛋白，糖基化程度在 10% 至 25% 之間，僅在少數情況下高

於 30%，這一特性可能有助於酵素的高穩定性 (Osma *et al.*, 2010)。

三、漆酶之應用與潛力

漆酶穩定性好，作用基質廣泛，多年來一直用於紙漿漂白。漆酶能夠使用多種酚類和非酚類底物，因此在食品、製藥和環境工業中具有潛在的應用前景。在食品加工上，將漆酶應用於去除果汁中的多酚物質以降低其苦澀感；透過控制酚類化合物來穩定葡萄酒風味 (品質)。近期研究開始集中在漆酶對蛋白質的氧化修飾。如，漆酶能夠與 α -乳白蛋白相互作用，顯著提高膠凝強度和氧化性；交聯花生蛋白並改變其免疫調節活性；漆酶可協同植物蛋白和甜菜果膠 (SBP) 交聯，開發新穎的黏合系統替代甲基纖維素 (Sakai *et al.* 2020; 2021)。漆酶在食品領域的應用越來越廣泛。漆酶的巨大潛力在於其氧化木質素 (lignin) 的能力，這一特性可廣泛應用於農副食品廢物增值的預處理，漆酶可降解近 80-90% 的木質素結構。基於「減少 - 再利用 - 再循環」理論，漆酶是非常適合循環經濟及生物精煉概念下重要參與的酵素之一 (Mayolo-

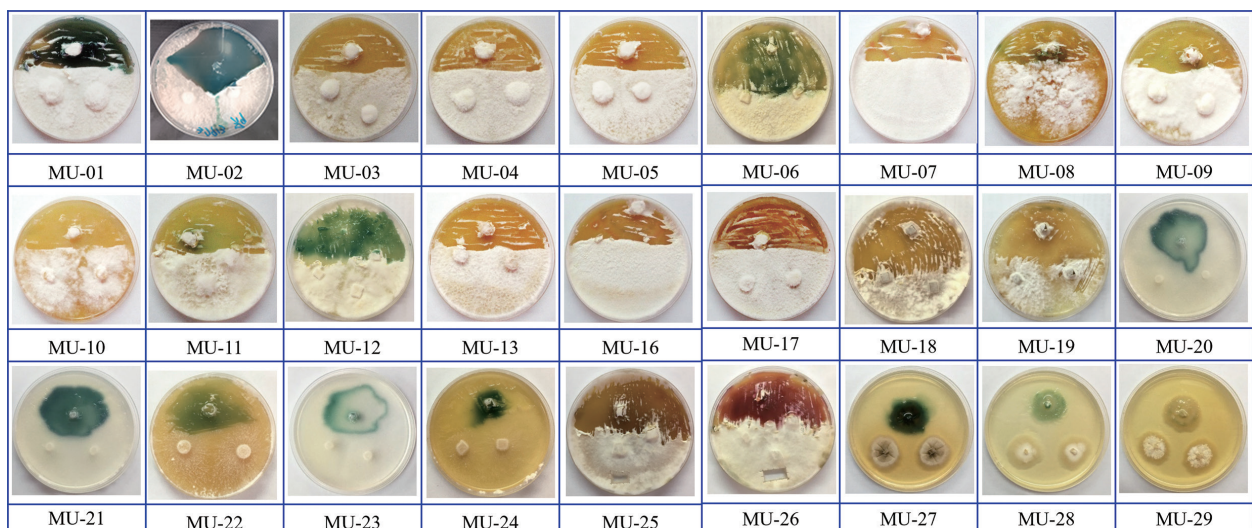
Deloisa *et al.*, 2020)。

四、本所研發成果

食品所生物資源中心 (BCRC) 以豐富的微生物庫為基礎，篩選具有生產漆酶活性之食用菌株，開發漆酶生產菌及其發酵培養條件，並評估其於蛋白質修飾的應用方法。考量使用之食用安全性，自可食用菌株庫來篩選可生產漆酶潛力之菌株，進行酵素活性測試，完成 11 種 40 株菌株之漆酶活性表現資料蒐集，其中 10 株可食菇菌株能有效分泌漆酶，不同分離株皆有一定程度的漆酶活性表現。進一步挑選酵素活性佳菌株，透過培養基組成設計與發酵培養策略，已建立實驗室發酵槽培養條件與粗酵素回收程序，作為試量產與未來商業生產的基礎。

五、參考文獻

- Mayolo-Deloisa, K. *et al.* 2020. Front Bioeng Biotechnol. 8:222.
Osma, JF. *et al.* 2010. Enzyme Res. 2010:918761.
Sakai, K. *et al.* 2021. Sci Rep. 11:16631.
Sakai, K. *et al.* 2022. Sci Rep. 12:1168.



圖一、漆酶 laccase 活性篩選

脂肪醛類風味化合物之生物轉化技術

生物資源保存及研究中心 / 副研究員
陳校禎

一、前言

味道是肉品的重要品質與感官參數之一，具影響消費者對肉製品的接受性及適口性。近年植物肉 (plant based meat) 產業蓬勃發展，然而消費者普遍認為現有植物肉產品的口味、質地平淡，仍有改善的空間，而與此相關的最關鍵原料即是肉類香料 (meat flavor)。2023 年全球食品香料市場規模約達 150 億美元，主要來自於植物和動物材料萃取，但隨著原料短缺及消費者對天然食品成分和風味多樣化的需求提升，市場持續成長。應用生物轉化技術生產肉香味的關鍵化合物或肉味香料，可以被視為天然香料，因此逐漸吸引各界投入，如法國 Springer North America Corp

(Lesaffre 子公司) 應用酵母菌及其萃取物於非動物性的各式肉味香料開發。

二、脂肪醛類的風味特性

醛是一類具有獨特和特徵嗅覺特性的揮發性化合物，此類化合物又稱為風味醛類，可區分為脂肪醛、芳香醛、萜烯醛。脂肪醛可帶來如：花香、果香或堅果香，且賦予特定肉類風味，在香料及嗜好性食品扮演重要作用。脂肪醛類的氣味非常多元，最具代表的化合物如表 1 所示，包括癸醛、十一醛、10- 十一烯醛、十二醛等，此些化合物是流行香水如 Chanel No 5、Rallet No 1 等的重要成分 (Kantel *et al.*, 2023)。此外脂肪醛因具有特定的肉類風味深受科學界的關注，Shahidi

等 (2022) 整理在不同肉品及加工方式中脂肪醛存在的化合物種類如表 2，因此這些醛類化合物可能與各類肉類香料的呈味密切相關。

三、生物轉化脂肪醛類

以牛肉味香料中的重要組成分 12- 甲基十三醛 (12-methyltridecanal; 12MT) 為例，目前主要依賴化學合成法生產，其有原料成本高、製程複雜、使用毒化物 (或易燃物) 為試劑、衍生有毒副產物等問題，加上因應永續發展、食品潔淨等議題，應用生物發酵技術開發非動物性 (animal free) 牛肉風味香料產品已經是國際的發展趨勢。目前已知有兩種不同的酵素家族可將脂肪酸還原為脂肪醛，包括羧酸還原酶 (Carboxylic acid reductases, CARs) 和醛氧化還原酶 (Aldehyde oxidoreductases, AORs)，CAR 對其還原的酸之結構特徵比較寬鬆，亦可處理脂肪族、芳香族、雜芳族和芳基脂肪族等。Finnigan 等 (2007) 研究發

表一、脂肪醛的風味描述。

脂 肪 醛	風 味 描 述
乙醛	辛辣、空靈、新鮮和果香
異丁醛	新鮮、醛香、花香、辛辣和綠色
庚醛	綠色的清新油脂味，濃郁的綠色果皮味
辛醛	蠟質、脂肪、柑橘、橙子、果皮、綠色、草藥和新鮮
壬醛	絲絨玫瑰脂肪味，柑橘果皮上的臘味
癸醛	橘皮、古龍水脂肪味
十一醛	臭氧、洗衣服味
10- 十一烯醛	新鮮橘皮、玫瑰與蠟的肥皂油脂味
10- 甲基十一醛	堅果油脂、新鮮木質琥珀、金屬
十二醛	清潔劑、金屬感、油脂、柑橘、花香

表二、不同食材在不同加工方式中的重要脂肪醛風味成分

加工方式	食 材	脂 肪 醛
烘烤	雞肉	丁醛、戊醛、己醛、辛醛、壬醛、十六醛、十八醛
烹煮	雞肉	己醛、庚醛、辛醛、壬醛、十六醛、反式 -2- 戊烯醛、反式 -2- 庚烯醛、反式 -2- 辛烯醛、反式 -2- 癸烯醛、反式 -2- 十一烯醛、反式、順式 -2,4- 十碳二烯醛與反式，反式 -2,4- 十碳二烯醛
冷凍	雞肉	己醛
烹煮	牛肉	戊醛、己醛、庚醛、壬醛、12- 甲基十三醛、反式 -2- 壬烯醛
冷凍	牛肉	己醛、辛醛
發酵	香腸（豬肉）	己醛、庚醛、癸醛、壬醛

現 *Mycobacterium marinum* 所生成的 CAR 酵素對 C2-C18 的脂肪酸具有活性，但進一步會將脂肪醛還原為脂肪醇，這是利用此菌株生成脂肪醛必須克服的問題。Schober 等 (2023) 的研究指出，利用大腸桿菌重組 *Mycobacterium marinum* 的 CAR 進行辛酸轉換，可大量生產辛醛。另外，亦指出由植物或藻類而得的 α - 雙加氧酶 (α -Dioxygenases, α -DOX) 也可應用來生成脂肪醛，此酵素主要是藉由氧化脂肪酸後，再脫羧和脫水而形成脂肪醛。

四、本所研發成果

應用生物法生產天然香味的技術備受業界矚目，食品所生資中心 (BCRC) 以豐富的微生物資

源、發酵技術及回收純化技術為基礎，已廣泛應用於調味劑（如麩胺酸）生產。本技術乃利用資料收集及相關菌種篩選，成功建構 CAR 酵素之生產菌株，並進一步透過發酵調控、製程改良優化提升 CAR 的產量及活性；並建立脂肪酸轉化脂肪醛類香料的生物轉化製程，藉由開發生產的 CAR 酵素可成功轉化癸酸、十二酸及十四酸之脂肪酸為脂肪醛，可以作為天然香料的原料。本技術提供的脂肪醛類香料之生物轉化技術，具有製程簡單、生產時間短、轉化效率高等優點，極具有市場應用潛力。

五、參考文獻

Finnigan, W *et al.* 2017.

Characterization of Carboxylic Acid Reductases as Enzymes in the Toolbox for Synthetic Chemistry. *Chem. Cat. Chem.* 9:1005-1017.

Kantel, J.P *et al.* 2023. Biocatalytic Production of Odor-Active Fatty Aldehydes from Fungal Lipids. *J. Agric. Food Chem.* 71:8112 – 8120.

Schober, L *et al.* 2023. Enzymatic reactions towards aldehydes: An overview. *Flavour Fragr J.* 38:221-242.

Shahidi, F *et al.* 2022. Role of Lipids in Food Flavor Generation. *Molecules.* 27:5014-5029.

生物資源保存及研究簡訊 第139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、許瓊文、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

