



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36卷第2期

中華民國 112 年 6 月發行

補助單位：經濟部技術處 / 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

- ◎ 多元酵母開發應用
- ◎ 植物發酵飲料之智慧化製程開發
- ◎ 剔除 *NTH1* 及 *HSP12* 基因以提高酵母菌於麵團中的冷凍耐受性
- ◎ 甲烷菌 - 意想之中與意料之外的產業應用
- ◎ 市售基因改造黃豆之食品安全評估

經濟部技術處科技專案成果

多元酵母開發應用

生資中心 / 技師 / 研究員
郭曉萍 / 黃學聰

一、前言

酵母菌為真核生物真菌界之微生物，從 4000 多年前人類已用來進行釀酒及製作麵包，為人類使用最古老的馴化微生物。酵母菌以出芽或分裂進行無性生殖，方式可分為單極、雙極及多極出芽，在特殊條件下可產生菌絲。另外經由細胞間交配接合或雙倍體細胞直接轉化進入有性生殖，產生子囊孢子或擔孢子。酵母菌為化能異營、兼性厭氧微生物，能吸收環境中各式各樣糖類物質進行生長及代謝合成各種人類所需物質，因其優異的發酵特性及營養特性，在實際生產中可根據酵母菌細胞數量、細胞組成成分的需求、酵母菌代謝產物需求，依照不同目的來進行酵母的生產工藝，被廣泛應用於食品、工業、環保、科學研究、飼料及工業營養物等領域。目前常被人類使用的酵母菌包括 *Saccharomyces cerevisiae*、*Pichia pastoris* (或稱 *Komagataella phaffii*)、*Yarrowia lipolytica* 及 *Kluyveromyces* sp. 二種 (*Kluyveromyces lactis*, *Kluyveromyces marxianus*)，已獲得美國食品和藥物管理局 (FDA) 認可之 GRAS 微生物 (De Brabander *et al.*, 2023)。

酵母菌普遍存在各式各樣自

然環境中，為了能夠在人造環境中生存，經由人為篩選壓力產生具有理想特性的進化新菌株，此過程稱為馴化。這些具良好特性之酵母菌因人為活動產生了跨地域性遷移，目前經由 NCBI 的核苷酸序列建構系統發育樹，大概可將全球酵母菌區分為 10 個進化枝，分別為清酒、葡萄酒 / 歐洲、法國乳製品、巴西生物乙醇、馬賽克啤酒、艾爾啤酒、非洲棕櫚酒、非洲啤酒、墨西哥龍舌蘭及西非可可 (Onyma *et al.*, 2023)。目前商業化酵母菌已不足以為食品帶入新特性，因此各國均積極從可食用和非可食用產品中進行生態採樣，希望獲取具有其他特性之野生酵母，或同類 / 不同類菌株共同發酵產生豐富 / 多元風味，開啟商業應用另一扇機會之窗。

二、食品可用酵母菌種類特性

(一) *S. cerevisiae* (SC) 釀酒酵母

SC 為人類最常用的一種酵母菌，又稱為啤酒酵母或麵包酵母，主要是因為 SC 在無氧或有氧條件下，將葡萄糖酵解成乙醇及二氧化碳，釀酒過程中乙醇被保留下來；烘焙過程中二氧化碳使麵

團膨發，加熱烘焙時乙醇及二氧化碳蒸發逸散至空氣中。由於 SC 經過長年馴化後，在釀酒及烘焙上各有其主要的菌種，因此被認為是最具潛力大規模生產菌種。

SC 具有與動物和植物細胞相同構造且易培養，被作為研究真核生物的模式生物，1996 年完成全基因組序列解碼，並公佈於國際互聯網的公共數據庫中，是研究真核細胞遺傳學和生理學的重要工具。SC 因對低 pH 值、滲透壓、高濃度乙醇及營養逆境均有良好耐受性，且有發酵潛力，因此有利於工業發酵生產。另外因 SC 生長週期短、易馴化、孢子形成效率高、對人體致病風險低及基因組小而為理想微生物細胞工廠 (Onyma *et al.*, 2023)。

(二) *P. pastoris* (PP) 巴斯德畢赤酵母

巴斯德畢赤酵母為一能夠利用甲醇作為唯一碳源和能源的酵母菌，從 1969 年的被發現後，以甲醇利用型酵母產生單細胞蛋白作為動物飼料的潛力被廣泛應用。因巴斯德畢赤酵母表達系統具有醇氧化酶基因 (AOX) 啟動子，用甲醇即可誘導表現外源基因、重組蛋白分泌至胞外使其純化容易、發酵工藝成熟使其培養成本低、外源蛋白基因遺傳穩定、和為真核表達系統，具有糖基化、脂肪醯化及蛋白磷酸化等轉譯後修飾加工功能，因此為分子生物學中生產重組蛋白的最流行和標準的工具之一。2009 年畢赤酵母生產的第一個生物製藥重組蛋白獲得批准後，至今已有 70 多個工業和生物製藥的重組蛋白被批准使用 (De Brabander *et al.*, 2023)

(三) *Y. lipolytica* (YL) 解脂耶氏酵母

解脂耶氏酵母是研究最多的“非常規 (non-conventional)”酵母，美國 FDA 歸類為工業生產的 GRAS 微生物，歐洲食品和安全局 (EFSA) 認為它對飼料和食

品應用是安全的 (Gottardi *et al.*, 2021)。YL 具有高脂質分解能力及累積脂質，其油脂含量甚至能夠超過自身細胞乾重的 80% 以上，具有高產各種脂肪酸及其衍生物之潛力，因此 YL 為研究最為透徹的產油脂酵母。

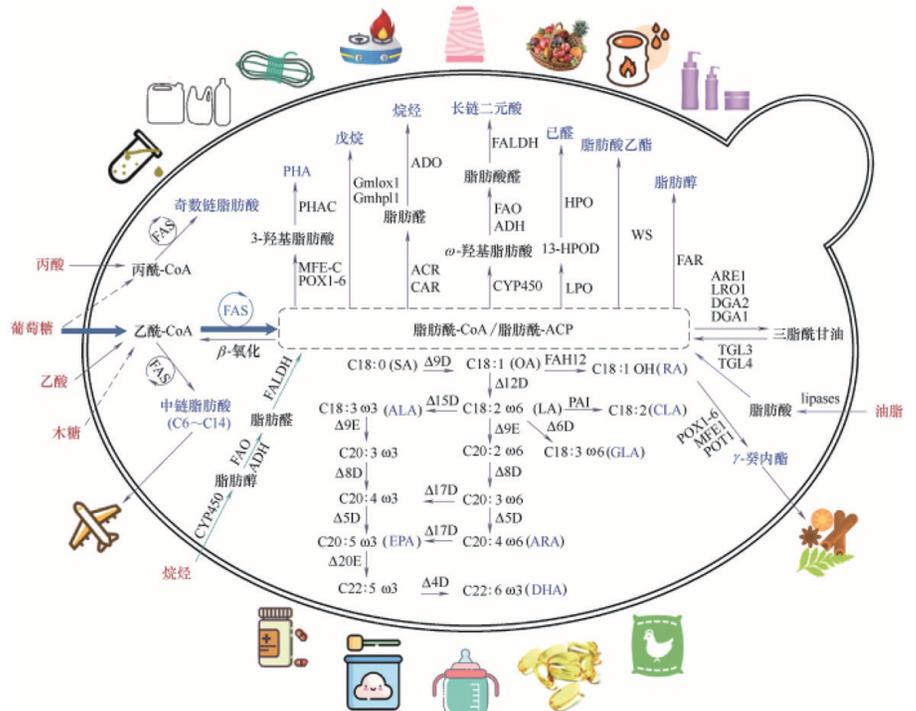
YL 為雙極子囊科 (Dipoascaceae) 之雙型性酵母菌，亦即該酵母菌同時具有酵母菌單細胞及菌絲兩種特性，常作為雙型性轉換調控、碳氫化合物及脂肪酸代謝、與蛋白質分泌途徑與機制等學術主題的模式生物，由此可見其運用廣泛性與重要性。YL 具有培養條件簡單、能夠利用多種基質快速生長、無 Crabtree 效應 (不產生乙醇)、基因組中內含子密度低，便於遺傳操作，因此科學家已成功建構 YL 細胞工廠用於生產各種萜類、黃酮類、聚酮類化合物及單細胞蛋白和單細胞油脂，並處理和降解各種污染物 (Wang *et al.*, 2021)。

YL 通過兩途徑進行脂質累積：脂質累積及脂質合成。脂質累積為 YL 從培養基中攝取疏

水性脂肪酸、短鏈烷烴和甘油三酯等油脂累積在細胞中，其油脂形式沒有變化，不被酶修飾。脂質合成為 YL 利用葡萄糖、甘油等親水性物質作為細胞生長碳源，經由 TCA cycle 轉化為脂質 (Bao *et al.*, 2021)。而後在細胞質中經由不同酶及脂肪酰-CoA/脂肪酰-ACP 合成各種脂肪酸衍生物，以利應用於各領域中 (圖一)。YL 另一特色為具有不同代謝途徑精細分區，酶分子的空間定位和細胞內生化反應的分區，除了增加中間基質傳遞和轉化效率，亦可增加基質穩定性使其不易流失。

(四) *Kluyveromyces* sp. 克魯維屬酵母菌

克魯維屬為少數可以利用乳糖作為唯一碳源和能源之微生物，生長快速及高細胞密度、可利用多種發酵基質、生長溫度範圍廣且 pH 耐性佳，可產生許多內源性酵素且有高水平的蛋白質分泌，為具有潛在開發價值之特用酵母。



圖一 解脂耶氏酵母中脂肪酸及其衍生物的合成途徑。

摘自 Wang *et al.*, 2021

Kluyveromyces lactis (KL) 是一種具有消耗乳糖的酵母，常見於各種類型的乳製品中，因其高 β -半乳糖苷酶活性，適合用於開發生產無乳糖乳製品。由於高效的蛋白質分泌、基因組整合及大規模發酵特性，已被開發為一種非常重要的酵母表達系統，目前 DSM 已利用 KL 大規模生產 β -半乳糖苷酶、凝乳酶和酯酶。

Kluyveromyces marxianus (KM) 能夠在 45°C 及以上的溫度下生長，並利用多種碳源，如乳糖、木糖、纖維二糖、阿拉伯糖和多糖（如果膠和菊粉），因上述原因使其成為工業潛力物種，在工業發酵過程中，提高發酵溫度可降低冷卻、蒸餾、分離成本，亦可提高酶催化效率，進而降低整體生產成本，目前在工業應用上生產許多內源性酵素，包括 β -半乳糖苷酶、 β -木糖苷酶、 β -葡萄糖苷酶和菊糖酶 (De Brabander *et al.*, 2023)，是一良好的蛋白質表現細胞工廠。

近年來，許多公司致力於開發克魯維屬酵母於食品、飼料和生物工程等領域應用且已取得多項成功產品，例如日本 Nagase ChemteX 公司開發的乳糖酶可將乳製品的乳糖分解，改善乳香及促進發酵效果。丹麥 Chr. Hansen 公司生產 FROOTZEN® 為葡萄酒增味劑。目前在克魯維屬菌株在合成生物學平台已展開廣泛研究，預計未來十年內將取得重大進展 (Qiu *et al.*, 2023)。

三、食品所多元酵母菌開發

生資中心整合微生物菌相分析、菌株分離、保存、發酵及劑型等技術，建立風味酵母菌庫，並針對烘焙與啤酒等產業所需，開發多元抗凍酵母及菌醃高密度培養技術。此外，針對 SC、KM 及 YL 已有相關研究開發，並建立我國特色酵母菌株及其特性酵母菌醃庫。SC 特色酵母在飲品部分開發包括多種酵素能力、產生特殊風味、高低酒精轉化能

力、低嘌呤及機能成份生產；在烘焙部分開發包括高膨發力、糖轉化率及抗凍能力等。KM 特色酵母研究包括多種酵素能力及特殊風味產生。YL 特色酵母評估了多種酵素能力及轉化生產機能性成分。除了建立菌株各種資料庫外，亦開發出特殊酵母菌之相對應培養基組成、培養條件、發酵製程、菌醃配方及使用劑型等技術能量，以因應未來工業量產。

特色酵母菌除了從菌株至菌醃生產鏈建立外，後續食品應用亦同步評估，同時建立相關製程，包括精釀啤酒（特殊風味啤酒、機能啤酒、低嘌呤啤酒、甘蔗啤酒）、烘焙（特殊風味饅頭、抗凍麵糰、老麵饅頭、老麵麵包）、花果香茶飲、花香型巧克力和植物基奶香起司粉等。在精釀啤酒部分，結合臺灣在地農產原料，整合紅麴菌、酵母菌發酵技術開發風味及機能精釀啤酒。同時，

進行百公升級釀造系統生產線製程探討、建立了特色風味啤酒之釀造過程判斷依據。技術除可大幅降低生產成本外，其果香香氣具持續性，無須額外後製果汁勾對及添加水果香料，更符合天然精釀產品訴求。

參考文獻

- Bao, W. 2021. Renewable and Sustainable Energy Reviews 149:111386.
- De Brabander, P. *et al.* 2023. Biotechnology Advances 64:108121.
- Gottardi, D. *et al.* 2021. Trends in Food Science & Technology 115:74-86.
- Onyema, V. O. *et al.* 2023. Food Chemistry Advances 2: 100162.
- Qiu, Y. *et al.* 2023. Biotechnology Advances 64:108125.
- Wang, KF. *et al.* 2021. CIESC Journal 72:351-365

經濟部技術處科技專案成果

植物發酵飲料之智慧化製程開發

生資中心 / 副研究員
洪怡芳

一、植物發酵飲料之簡介

依據全球機能飲品市場成長趨勢報告指出，至 2021 年，全球食品和飲料市場的人工智能價值約為 45 億美元。此成長趨動力主要來自於消費者對於功能性飲品需求不斷增溫，使機能飲料市場持續看好。隨著工業 4.0 的推動，食品製造中包含機能飲品領域也逐步走向數位化、智慧化發展，其中製程智慧化已是產品生產流程中重要的一環，食品飲料業較以往面臨更多挑戰，包括需求差異化、品質監測多元，導入智慧

化技術，運用大數據分析及數位科技等，目前朝向產品產量提升方向轉型，進入精準監控的階段，智慧化生技產品的開發也將融入於機能飲品的技術探索，是未來與產業鏈結的重點。

植物發酵飲料產品早期在日本、目前在台灣已經發展成相對成熟的產業，產品型態豐富、多樣化的機能訴求早已成為消費者行之有年的養生習慣。在市面上的植物發酵飲料，部份商品稱為蔬果酵素，其主要是以農產品與蔬菜水果為原料，經微生物轉化後，使原本存在植物中不易為

人體吸收消化之糖苷等化合物，生成容易為人體使用之小分子物質，如多元酚及黃酮類等。由於微生物發酵產品之素材來源優勢是受自然環境耕地限制，只要發酵技術成熟及設備完善即可生產。伴隨人體微生物組時代來臨，具備機能特性的植物發酵飲料之研發有利於拓展新商機，運用可調控菌種發酵策略與量產製程技術，可改善目前傳統植物發酵飲料多數製程不易控制或成份複雜不易確定功效等問題，輔以發酵蔬果食材天然健康以及環境永續的概念，可強化發酵產品深度，擴大商品效益。

二、植物發酵飲料之數位化工具導入

數位工具正在改變食品未來競爭規則，食品數據化是食品生態變革的重點轉折點，而數位化設計主要根據食品加工過程的物理、化學和微生物間變化的基礎，建立複雜食品體系或其加工過程組成成分、結構品質與品質參數間的關聯模型。運用感測器、人工智慧等技術，無論從製程的角度，協助縮短製程時間、提高產量、降低人力成本、增加新品開發的效率，轉化傳統職人技藝等，不斷改變與革新才能創造新商機(高等, 2020); 人工智慧目前運用於食品開發上，主要是著重於執行有效數據參數收集這方面，來瞭解人們未來對於產品喜好的偏好與趨勢，予以搭配作適用之組合建議。由於台灣食品廠商多為中小企業，無太多資金和人力投入智慧化系統的開發，因此在發酵食品工業中如何快速、低成本兼具環保的方式來評價及監測產品的品質是非常重要的關鍵。可感知發酵特性的感測器來提高生產良率和精準度，將有利於製程標準化；故如何建立感測器與發酵品質製程之模組化，透過監控與檢測紀錄的數累積，乃至雲端平台資料整合，尋求最佳產品品質或調控參數法則，能有效提

升發酵產品之生產效率及產品品質，更適合導入食品產業應用。

在國內機能飲品開發上，傳統發酵方式的產品自動化程度低且成本相對較高，製程參數條件之監控僅限於對發酵環境的掌握，各種關鍵品質指標在傳統製程參數的調控上多憑著職人經驗或是隨時間取樣離線分析來設定，且應用於機能飲發酵品質分析設備價格昂貴。而在國外透過智慧化管理有許多發展面向，新穎性食品發酵技術導入創新性製程與節能技術是目前國際趨勢與主流，包括超音波與生物感測器已經被利用來提高食品發酵過程之生產效率；生物感測器在製程環境之監測具有潛力優勢是由於其快速且具異性，易於大規模製造，因此優於傳統分析技術，具有相當開發潛力。以機能飲品智慧製程而言，綜合應用統計、演算法、視覺化技術，運用數位軟體來建立發酵過程的模型，並以機器學習系統與反饋的數據，探索目標物發酵過程的優化控制，整合資料庫與智慧模型決策製程，將可有效率的把智慧製程累積的視覺化數據與技術能量衍生至其他相關食品加工、機械、保健飲品等產業，有助整體產業效益提升。相較於傳統分析方式需要批次取樣耗時間外，開發新穎的感測或監測方式來替代傳統昂貴光譜儀器或長時間分析樣品耗時方式，是目前發展機能飲品產業的主流方向。

三、植物發酵飲料製程之數位監測與系統建構

數位化(Digitization)、數位優化(Digital Optimization)與數位轉型(Digital Transformation)可視為在數位科技應用上的三個階段，第一階段為數位化，亦即企業先前並未採用相關電腦系統或數位科技於營運管理，為提升效率開始初步應用電腦，將紙本資訊、資料或流程轉為數位格式的過程。第二階

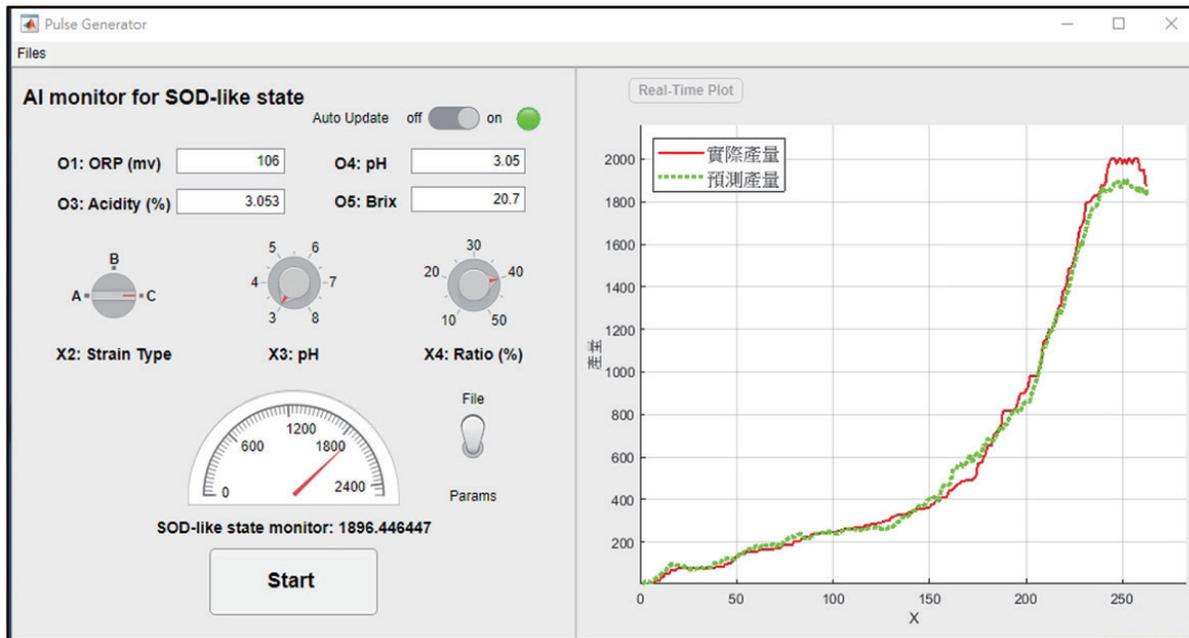
段為數位優化則是在既有數位化的基礎之上，提升數位技術應用能力、採用資料與網路互連等數位工具，改善既有的商業活動(如加速新產品開發、強化營運效能等)。台灣多數企業目前都在這個階段，適度投入資源可以讓數位優化效果更加卓越。

(一) 光學檢測系統

光學檢測技術具即時、圖譜易廣泛應用於食品製程，結合經過人工神經網路等方法訓練得到的模型，可以準確高效的從光學特性得到有關食品化學組成、物理特性、產地來源等多種資料結果。結合機器學習方法對多因素目標和多成分食品的模型優化，開發回應速度快、價格低廉、環境友好的檢測晶片，是未來電學檢測技術的發展方向。研究學者採用普魯士藍的奈米晶片設計了一種轉化酶等多酶複合電化學生物感測器，用於發酵培養基和果汁中蔗糖和葡萄糖含量的監測，該感測器的回應時間最短只需 20 秒(Zhuang *et al.*, 2021)。

(二) 機器檢測監控系統

發酵食品的種類繁多，發酵過程複雜，且通常含有多樣化的中間產物，與產品品質變化直接相關。因此，標準化對機能發酵飲品之理化指標的檢測或監測，是評價產品品質的關鍵。現代的智慧感官評定如電子鼻技術，主要應用於揮發性風味物質的研究與開發，電子鼻技術可用於發酵過程中的檢測、分類，例如不同品種紅酒鑑品及分類、食醋揮發性物質的識別及真偽鑒別等。電子鼻技術也存在局限，常用的電子鼻系統大多體積龐大，主要受到感測器數量的限制，而小型的電子鼻則難以滿足對廣泛的應用要求且精確度不足。以電子鼻與 GC-MS 兩種分析技術的配合能夠從宏觀和微觀上研究食品風味，是目前食品檢測的主要手段(Misra., 2021)。



圖一 植物發酵飲品智慧監控介面（食品所技術）

另外電子舌具有快速測定溶解非揮發性食物成分，以及通過直接測量步驟和最少樣品製備進行精確測量的優點。目前，機器學習技術被廣泛研究、開發並集成到特徵物質提取、建模中，可以有效減少外界因素的雜訊影響。除此之外，電子舌無法區分具有相似結構的化學物質，因為它的感知機制是基於化學相互作用的，更好的方式是依靠質譜儀。質譜儀是對發酵原料及發酵過程的中間產物進行質譜構檢測，從而將發酵過程的物質與品質進行關聯性分析。目前，雖已有主成分、人工神經網路、遺傳演算法等相對成熟的資料處理方法，但從檢測速度和效率來綜合分析，這些演算法並不一定是最好的，因此還有待開發新的資料處理方法(代等, 2022)。

(三) 資料視覺化與應用決策

機器學習主要需運用大量數據和演算法來訓練機器，數據在分析時非常關鍵，在開始進行數值分析時，需經由資料萃取技術，主要是從資料中找出可用的特徵，經過資料萃取後進行特徵選擇，將資料中的格式缺失值、重複或無效資料等異常狀況，視

資料分佈狀態來決定如何填入資料或移除欄位，不把錯誤和偏差的資料帶入到分析值過程，從大量資料中挖掘出資料規律，將理論技術轉換成特徵資訊，根據機器學習的結果，使用演算法篩選特徵，經過反覆測試，找出最適當的特徵組合，並發掘多變數資料間的關聯性，以文字或圖形解釋結果，有利於驗證結果供智慧決策使用。針對控制機能飲品的智能監控系統，除了數學模型描述之外，最廣泛運用的人工神經網路 (artificial neural networks, ANNs) 搭配遺傳演算 (genetic algorithm, GA)，有效連結非線性多變量（輸入層）和相應的輸出層變量關聯性。例如，人工智能（AI）模型構建的香氣特徵和從 20 種商業啤酒中獲得的近紅外光化學指紋圖譜。結果顯示機器學習 NIR 從啤酒中獲得的模型，可以精準預測 6 個變量值。實施機器學習和 AI 建模策略將減少特徵分析的主觀性，提高新產品開發的成功率 (Viejo *et al.*, 2020)。

四、本所於植物發酵飲品之研發成果

食品所研究團隊透過跨域技術整合資源，藉由即時監測、

製程優化及大數據資料庫加值，解決目前植物發酵飲品製備費時，製程批次差異大、且關鍵數值無法即時量測之技術缺口，導入發酵飲品製程標準化、監控參數數位化，建立製程智慧模型及辨識影響發酵飲品活性之決定性因子，漸進式落實數位化，達到製造資源利用最大化效益。充分運用研發數值的累積可衍生場域之應用價值，除了建立發酵數據庫可精準預測發酵飲品的抗氧化成分含量外，也可做為落實產業智慧監控應用的軟體服務模式(如圖一所示)，促進植物發酵飲品產業升級與數位轉型，為 AI 發酵飲擴大產業應用的成功關鍵。

參考文獻

- 代良超。2022。食品工業科技。pp.14 – 21。
- 高小鹏。2020。中國生物工程雜誌。pp. 93-99。
- Misra, B. B. *et al.* 2021. Analytical Methods: Advancing Methods and Applications.V.20. pp. 2265-2282.
- Viejo, C.G. *et al.* 2020. Fermentation.V.6.pp.73-85.
- Zhuang, N. *et al.* 2021. Microchemical J. 164 : 106075.

剔除 *NTH1* 及 *HSP12* 基因以提高酵母菌於麵團中的冷凍耐受性

生資中心 / 副研究員
陳柏洲

一、摘要

本研究建構啤酒酵母菌 CRISPR-Cpf1 基因編輯平台，利用 *ADE2* 基因剔除菌株呈現紅色菌落的視覺化辨識特性，建立最佳化之高效率基因編輯系統。為了提高啤酒酵母菌應用於冷凍麵團之抗凍能力，本研究剔除酵母菌之海藻糖水解酶基因 *NTH1* 及 / 或熱休克蛋白基因 *HSP12*，實驗結果發現，*NTH1* 剔除菌株的海藻糖含量為原始菌株的 5 倍，而海藻糖為酵母菌避免冷凍傷害的重要物質。*NTH1/HSP12* 雙基因剔除菌株在冷凍 21 天後，存活率高於原始菌株 7 倍。此外，含有基因編輯菌株的冷凍麵團在解凍後仍能正常膨發，顯示基因編輯菌株有利於應用於冷凍麵團製作。本研究利用最佳化的基因編輯平台，精準編輯啤酒酵母菌，提升酵母菌之抗凍能力。基因編輯平台可應用在菌株特性改良上，將可大幅提升酵母菌於食品工業之應用發展。

二、前言

冷凍麵團技術的發展對烘焙產業的成長相當重要，因為冷凍麵團可以低溫運送到各個銷售點，通過簡單的解凍、發酵和烘烤，可以方便地將新鮮出爐的麵包供應給消費者。然而，影響冷凍麵團技術的一個關鍵因素為啤酒酵母菌對冷凍環境的耐受性低。許多研究指出，啤酒酵母菌中的海藻糖 (trehalose) 在極端環境條件下可提供細胞保護作用，海藻糖通過與磷脂結合以維持細胞膜的

完整性，並避免變性蛋白質的凝集，進而達到抗凍的效果。剔除 *NTH1* 基因將導致海藻糖水解酶活性降低，使細胞內的海藻糖含量增加，進而提高酵母菌細胞的抗凍能力。另有文獻指出熱休克蛋白家族 (heat shock protein, HSP) 在細胞遭遇壓力環境時扮演重要角色，例如冷凍保護。*HSP12* 基因剔除酵母菌株可提高對冷凍環境的抵抗能力。

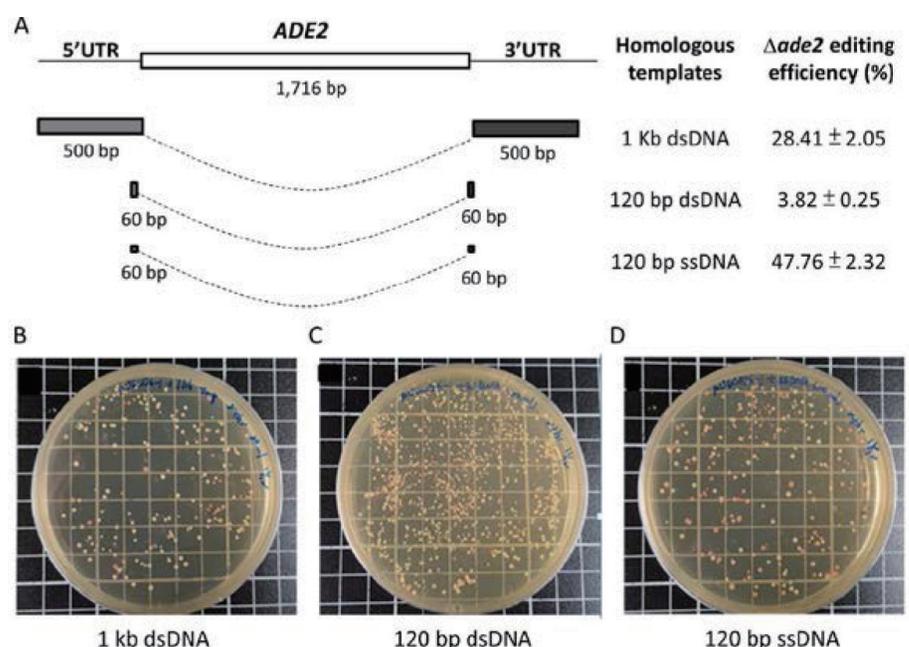
在本研究中，我們首先使用視覺識別的方式在啤酒酵母菌中建立高效率 CRISPR-Cpf1 基因編輯系統，接著透過 CRISPR-Cpf1 系統構築 *NTH1* 基因和 / 或 *HSP12* 基因缺失的啤酒酵母菌株，並研究細胞內海藻糖含量以及凍融後的細胞存活能力，最後分析基因編輯酵母菌株於冷凍麵團的發酵能力。

三、結果

(一) 建立高效率啤酒酵母菌 CRISPR-Cpf1 基因編輯系統

為了最佳化啤酒酵母中菌 CRISPR-Cpf1 基因編輯系統，我們使用 *ADE2* 基因做為目標基因，該基因被剔除後會使菌落形成紅色，利用顏色特性可以直觀地確認基因編輯效率。此實驗設計了三種同源互補片段，包括 1 kb 雙股 DNA (dsDNA)、120 bp dsDNA 和 120 bp 單股 DNA (ssDNA)。比較不同類型同源互補片段的基因編輯效率，使用 ssDNA 作為同源互補片段是 dsDNA 的 12.5 倍 (圖一)，顯著提高基因編輯的效率。

此外，我們分析電轉形過程中的條件對於基因編輯效率的影響，包括電轉形後細胞恢復時間和質體濃度。當使用 500 ng 質體量進行電轉形並在電轉型後培養 48 小時，基因編輯效率可提高到 $67.37 \pm 2.34\%$ 。根據以上結果得知，使用 ssDNA 作為同源互補片段和較長的細胞恢復時間可顯著提升啤酒酵母菌 CRISPR-Cpf1 系統的基因編輯效率。



圖一 *ADE2* 同源互補片段之設計及基因編輯效率分析。

(二) 利用 CRISPR-Cpf1 系統構築 *NTH1* 和 / 或 *HSP12* 基因剔除菌株

冷凍麵團在冷凍環境下的儲存可能導致酵母菌的細胞死亡及發酵能力的喪失，海藻糖可以在冷凍壓力下保持細胞膜的完整性和蛋白質的天然結構，也有研究發現熱休克蛋白 Hsp12p 與冷凍條件下酵母菌存活率間具有相關性。為了提高酵母菌在麵團中長時間冷凍後的烘焙能力，使用 CRISPR-Cpf1 系統剔除 *NTH1* 和 *HSP12* 基因 (圖二)，本研究構築了 *NTH1* 基因剔除菌株、*HSP12* 基因剔除菌株以及 *NTH1/HSP12* 雙基因剔除菌株，並利用 PCR 分析確認。結果顯示基因剔除菌株中的 PCR 產物大小皆比野生型菌株小。另外也分析基因編輯菌株的海藻糖水解酶活性，

與野生型菌株相比，*NTH1* 缺失菌株 ($\Delta nth1$ 和 $\Delta nth1/\Delta hsp12$) 的海藻糖水解酶活性顯著降低，而 *HSP12* 缺失菌株的海藻糖酶活性並沒有顯著改變。

(三) 剔除 *NTH1* 基因增加細胞內海藻糖含量

分析不同基因編輯菌株的細胞內海藻糖含量，結果顯示 *NTH1* 基因剔除菌株的海藻糖含量為 104 ± 2.3 mg/g 細胞乾重 (CDW, cell dry weight)，是野生型菌株 45.4 ± 2.3 mg/g CDW 的 2.3 倍，*HSP12* 基因剔除菌株中海藻糖含量沒有增加，此外，*NTH1/HSP12* 雙基因剔除菌株的海藻糖含量為 112.9 ± 5.4 mg/g CDW，是野生型菌株的 2.5 倍。所有 *NTH1* 基因剔除菌株 ($\Delta nth1$ 和 $\Delta nth1/\Delta hsp12$) 的海藻糖含量顯著升高。此結果說

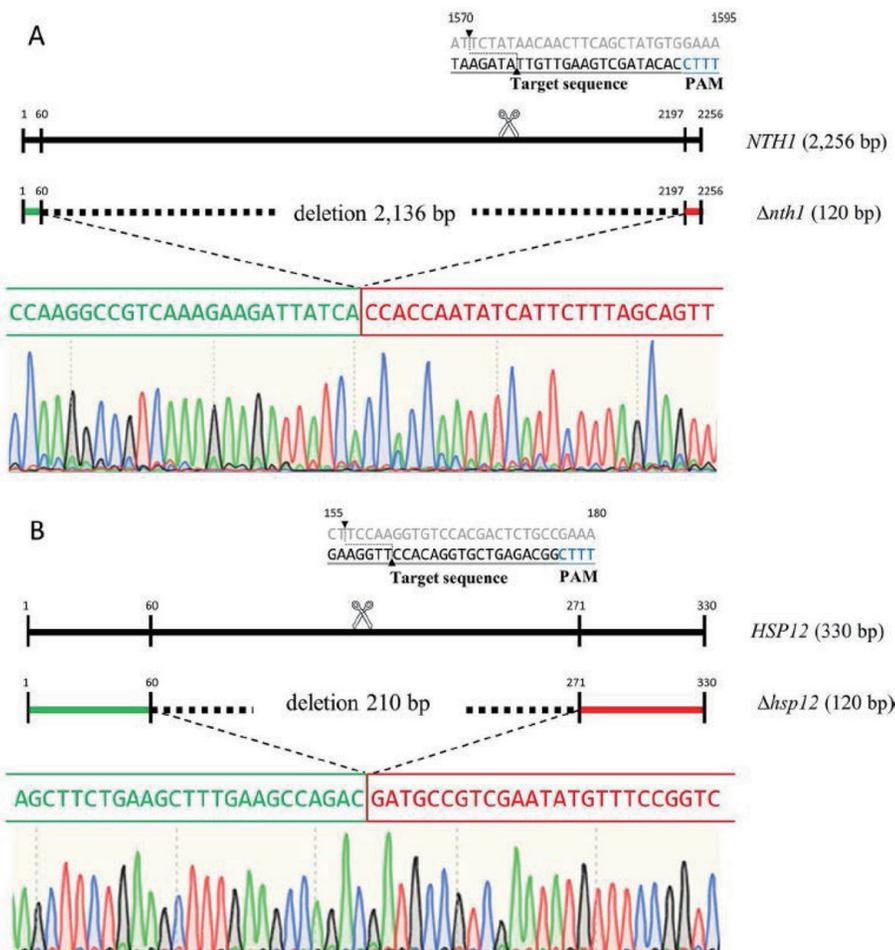
明 *NTH1* 基因的存在與否對於海藻糖的含量至為關鍵，而不是 *HSP12* 基因。

(四) *NTH1/HSP12* 雙基因剔除菌株賦予細胞長期耐凍性

為了研究基因編輯菌株的冷凍耐受性，在冷凍儲存 7、14 和 21 天後分析細胞存活率。野生型菌株的細胞在冷凍儲存 21 天後，存活率下降到 $9.15 \pm 1.82\%$ 。*NTH1* 基因剔除菌株在冷凍 7 天和 14 天後的細胞存活率分別為 $87.17 \pm 8.32\%$ 和 $65.46 \pm 6.41\%$ ，卻在 21 天後急劇下降至 $19.8 \pm 1.85\%$ ，根據結果推測 *NTH1* 基因剔除菌株可以維持短期冷凍儲存的細胞存活能力，但不能長期冷凍儲存。冷凍 7、14 和 21 天後，*HSP12* 基因剔除菌株的細胞存活率分別為 $61.05 \pm 7.45\%$ 、 $58.39 \pm 6.02\%$ 和 $47.81 \pm 3.46\%$ ，冷凍 7 天後，*HSP12* 基因剔除菌株的存活率低於 *NTH1* 基因剔除菌株，但冷凍 21 天後卻是 *HSP12* 基因剔除菌株的存活率更高。此外，冷凍 7、14 和 21 天後，雙基因剔除菌株的細胞存活率分別為 $88.35 \pm 9.41\%$ 、 $83.33 \pm 2.14\%$ 和 $62.87 \pm 6.29\%$ 。根據結果推測 *NTH1/HSP12* 雙基因剔除提高了長期冷凍的細胞存活能力，海藻糖含量與酵母菌細胞短期冷凍的存活能力呈正相關，而 Hsp12p 的缺乏則會增加細胞在長期冷凍時的耐凍特性。

(五) *NTH1/HSP12* 雙基因剔除提升菌株於冷凍麵團之發酵能力

欲使用於冷凍麵團的酵母菌須具備一個重要特性，即是其發酵能力。本研究分析含有不同基因編輯酵母菌株的麵團在冷凍 7 天和 21 天後的發酵能力，結果顯示，與新鮮麵團相比，冷凍麵團在冷凍解凍後失去了發酵能力，表示野生型酵母菌在冷凍麵團中大量死亡，而單一 *NTH1*



圖二 *NTH1* 及 *HSP12* 基因剔除示意圖。

基因剔除或單一 HSP12 基因剔除皆會稍微提高發酵能力，冷凍 7 天和 21 天後，*NTH1/HSP12* 雙基因剔除菌株的麵團發酵能力則有顯著提升。此結果表示 *NTH1/HSP12* 雙基因剔除在冷凍解凍的環境壓力下可提供最佳的麵團膨脹能力。

結論

本研究構建了一個高效率 CRISPR-Cpf1 基因編輯系統，透過此系統在啤酒酵母菌中剔除 *NTH1* 或 / 和 *HSP12* 基因，剔除 *NTH1* 會導致海藻糖含量增加，並在短期冷凍儲存中發揮保護作用。同時剔除 *HSP12* 及 *NTH1* 則可提高冷凍耐受性並保護細胞避免於長期冷凍下而死亡。本研究

透過更精確、更快速、更經濟的基因編輯系統，為烘焙行業開發新穎酵母菌株提供了更多的發展可能性。

參考文獻

- Chen BC, Chu WS, Lin HY. 2021. Enhancement of CRISPR-Cpf1 genome editing efficiency using ssDNA homologous recombination in *Saccharomyces cerevisiae*. *Taiwanese Journal of Agricultural Chemistry and Food Science*. 59: 4-10.
- Chen BC, Lin, HY. 2022. Deletion of *NTH1* and *HSP12* increases the freeze-thaw resistance of baker's yeast in bread dough. *Microb Cell Fact*. 21: 149.

研究高產氣效率的甲烷古菌，一度蔚為風潮。

近年各國政府又開始重視並投入沼氣發電，以歐洲為例，丹麥人口不到六百萬，卻養了兩千萬頭豬，豬肉產品出口占全球市場近三成。他們能在密集養豬、環境保護與潔淨能源三方面達到平衡且獲利，最大關鍵就是 - 沼氣發電。丹麥採行的是「大型集中化厭氧發酵技術」(centralized anaerobic digestion, CAD)，也就是集合鄰近村莊設置大型共同處理廠。CAD 不只處理農牧廢水，也能處理食品業與家戶廚餘。目前丹麥政府藉由「綠色成長計畫」(Green Growth Plan) 持續推動沼電發展，並持續擴建 CAD 廠，目標是處理全國 50% 的畜牧廢水。

再以美國加州為例，州政府針對畜牧業所衍生出的天然氣，提出高額能源補助方法，吸引各大企業爭相投入畜牧糞尿轉天然氣的技術研發與設備精進，藉以申請鉅額補助；如美國潔淨能源燃料公司 (Clean Energy Fuels)、歐洲能源巨擘英國石油公司 (BP) 及法國道達爾 (TotalEnergies SE) 等；甚至連能源公司雪佛龍 (Chevron)、電商巨擘亞馬遜 (Amazon)，都想參一腳糞尿掏金。

國際市場調查機構 Fortune Business Insights 預估，沼氣相關產業產值，將從 2021 年的 256.1 億美元 (新台幣 7,180 億元)，成長至 2028 年的 370.2 億美元 (新台幣 1 兆多元)，年複合成長率 (CAGR) 約 5.4%。

沼氣發電在台灣其實行之有年，農委會自民國 80 年起即輔導養豬場處理廢水以符合放流水標準，同時亦輔導沼氣自場再利用，包括其家用熱源、仔豬保溫、焚化爐或發電。惟因我國養豬場規模多為小型且分布各地，沼氣生成量較小，加上設備維護成本高，台電躉購電價低，發電賺不了錢，久而久之就任由設備荒廢、沼氣逸散。

甲烷菌 - 意想之中與意料之外的產業應用

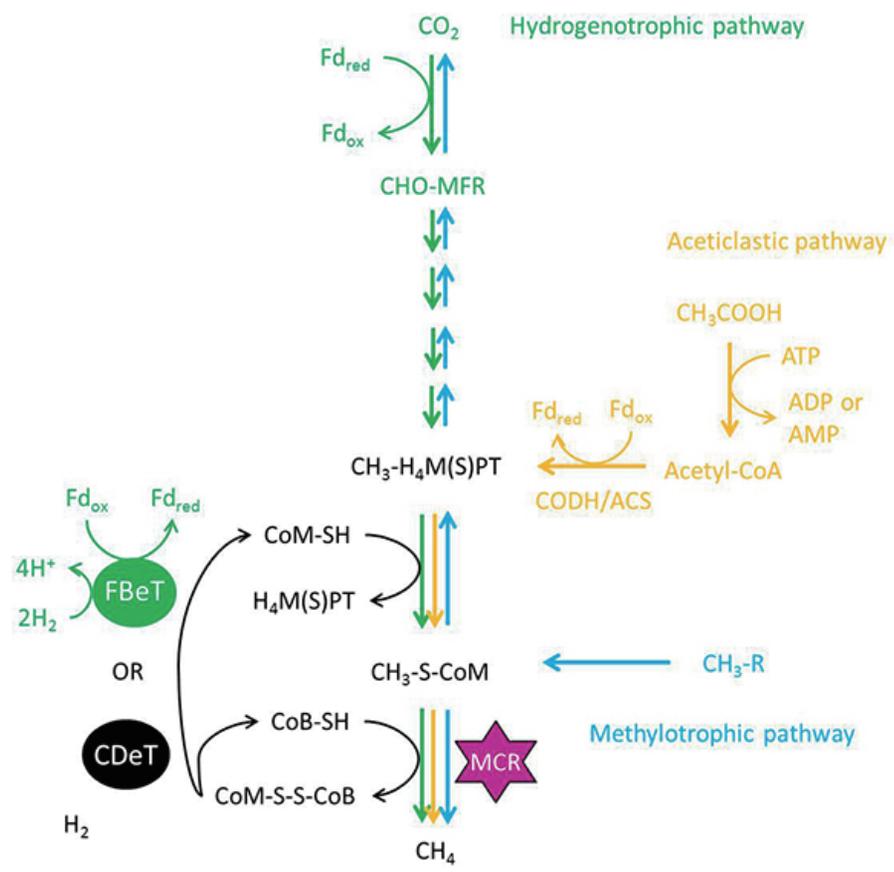
生資中心 / 研究員
施朝仁

甲烷古菌，俗稱甲烷菌，隸屬於三域分類系統中的古菌域 (Domain Archaea)，是一種對氧氣極其敏感的絕對厭氧微生物。舉凡海底火山口，海底沉積物、河湖淤泥、沼澤地、水稻田、苔原、污水處理廠、人和動物與白蟻的腸道、反芻動物瘤胃，甚至在植物體內，只要是與氧氣隔絕的環境中都能發現它的蹤跡。

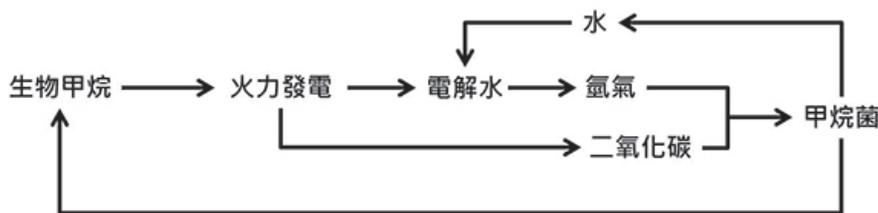
甲烷菌是地球上唯一能產生甲烷的微生物，它能透過特殊的甲烷化途徑 (methanogenesis)，利用氫氣加二氧化碳或簡單的有機質，獲得能量並產生甲烷。目前已知的甲烷化途徑共分三種 (圖一)，第一種為氫利用型途徑 (hydrogenotrophic pathway)，走此途徑的甲烷菌，能單純使用氫氣和二氧化碳作為甲烷化作用的基質。第二種途徑為甲基利用型途徑 (methylotrophic pathway)，此

類甲烷菌利用的基質為簡單的甲基化合物，如甲醇和甲基胺等。第三種途徑則是醋酸利用型途徑 (acetoclastic pathway)，此類菌種會先將醋酸轉換成乙醯輔酶 A，再進入甲烷化途徑 (Blaut, 1994; Kurth *et al.*, 2020)。不管是哪一種途徑，都會將這些基質轉化成甲基輔酶 M (Methyl-SCoM)，最後由甲基輔酶 M 還原酵素 (Methyl-SCoM reductase, MCR) 將之還原生成甲烷。

因為產甲烷的特性，甲烷菌曾經被視為生質能源或替代能源的明日之星，其最大的產業應用性，就是被廣泛利用於污水處理廠、畜牧業糞尿處理系統的厭氧消化程序，能夠同時降解有機污物，又能產生沼氣中主要用以燃燒、發電的甲烷，讓廠區至少做到能源自給自足，進而躉售給國家電力公司，併入供電電網。而



圖一 三種甲烷化作用途徑。(編修自 Lyu *et al.*, 2018)



圖二 生物甲烷無限循環利用概念圖。

烷濃度提升到 80%。這也讓該集團擁有全台最高的沼氣發電量，每年約可供應臺灣近 1 萬 2 千戶家庭用電。除了處理自家廢水用來發電，永豐餘也利用其菌種與技術，協助台積電、日月光等半導體廠，以及桃園市等地方政府，處理工廠廢水、汙泥及水肥、廚餘等有機廢棄物，期望能將廢物轉能源的效用發揮到極致。此沼氣再生能源發電專案也獲頒「第 18 屆國家新創獎-企業新創獎」殊榮。

隨著「淨零排放」成為全球共識，身為第二大溫室氣體來源的甲烷菌，其存留成為一大爭議。根據「全球甲烷評估」(Global Methane Assessment) 報告，如果各國傾全力減少甲烷排放量，全球將有潛力於 2030 年減少 45% 的人為排放甲烷，並可望於 2040 年前遏阻升溫 0.3°C。而全球共 150 個國家簽署的「全球甲烷承諾」(Global Methane Pledge)，則宣示在 2030 年前要減少比 2020 年水準 30% 的甲烷排放量，以減緩氣候危機。

「全球甲烷評估」報告指出，畜牧業佔甲烷人為來源 32%，而其中最大排放源就是牛隻。牛的瘤胃常駐大量甲烷菌，當牛一打嗝或放屁，大量甲烷便隨之排放。幾年前就有一派環保團體提倡吃素減碳，尤其建議少吃牛肉，但效益並不高且論點具爭議。有一群科學家則凌駕「淨零排放」的理念，致力於「清零」，也就是消滅牛隻肚中的甲烷菌，從源頭抑制甲烷排放。這派學者認為，即使它產生的甲烷可用來燃燒發電，但燃燒後仍是排放二氧化碳這個最大宗的溫室氣體。

然而牛肚甲烷菌的清零浪潮，卻意外帶動「減排」飼料產業的崛起。研究發現，將「3-硝基氧丙醇」(3-Nitrooxypropanol，簡稱 3-NOP) 添加入飼料中，能減少牛的瘤胃中生成甲烷量，且不會影響牛隻健康。3-NOP 能

近年台電將沼氣發電躉購電價逆勢調升到每度 5.18 元，讓誘因大幅增加，加上近年政府針對沼氣發電提出補助措施，因此吸引地方政府或企業投入。以花蓮璞石閣畜牧生質能源中心為例，它是由地方政府及環境業者共同投入興建，其厭氧消化系統參考自於歐洲養豬大國丹麥，目標收集縣內 8 家畜牧場近 1 萬頭豬隻及 700 頭牛隻的糞尿，經由厭氧發酵產生沼氣，收集作為發電使用，產生的電將併入台電電網。預估每年可產生約 80 萬度電，相當於 250 戶住家用電容量。除了

發電，沼渣、沼液還能做為有機肥，供農地使用。

有別於畜牧業的糞尿處理仍是走天然菌種發酵模式，也就是利用糞尿本身存在的甲烷菌進行產氣，國內紙業龍頭「永豐餘」則著重於「工業廢水」處理，而且是菌種優化的典範。該企業早年因造紙廢水問題屢屢受罰，索性投入菌種研究，致力於以科技方法尋找並培養「優良厭氧菌」，目前也確實培養出甲烷轉換效率極高的厭氧菌群，號稱只需四小時，就可以使製程排放水中 90% 的有機物轉化為沼氣，更讓將甲

專一性地抑制甲烷化途徑的必須酵素「甲基輔酶 M 還原酵素」(MCR)，進而阻斷甲烷生成 (Yu *et al.*, 2021)。嗅到商機的飼料公司蒂斯曼，旋即著手開發含有 3-NOP 牛飼料，並展開為期 2 年、1 萬 5 千頭牛參與的實驗。結果證實牛隻甲烷排放量平均減少 30%，對動物的健康、屠體特性等沒有產生負面影響。目前該飼料已在巴西、智利獲得批准上市。

除了已上市的含 3-NOP 飼料，澳洲研究人員嘗試在飼料中添加海藻，期望能減少牛隻排放甲烷。研究發現，在人造瘤胃中，加入蘆筍藻 (*Asparagopsis taxiformis*)，可減少高達 99% 的甲烷生成，所需要的劑量僅為糧草的 2%。動物實驗則證實，蘆筍藻可減少牛犢腸道內甲烷 80% 以上 (Roque *et al.* 2021)。而這些減排飼料的研究，都需要甲烷菌作為材料，也算是甲烷菌意料之外的產業應用。

近年二氧化碳捕捉技術蓬勃發展，若將該技術用於捕捉火力發電廠排出的二氧化碳，加上電解水產生的氫氣，提供給甲烷菌進行甲烷化反應，生產生物甲烷

和副產物水，生物甲烷用來進行火力發電，部分電力用來電解水產氫，如此就能形成「零碳排」且能源再生的無限循環 (圖二)。

因應淨零排放的浪潮，抑制牛肚內甲烷菌與高效利用汗水中甲烷菌，應該要齊頭並進。科學家也確實研究出抑制牛隻腸胃甲烷菌的配方，試圖從源頭減排甲烷。而提高農畜、工業廢水中甲烷菌的效能，並做好甲烷的收集系統，嚴密控制洩漏逸散，完整用於發電，甚至做好發電後二氧化碳的收集捕捉再利用系統，那甲烷菌將是能把廢物變能源及能源無限循環再生的關鍵角色。

參考文獻

- Blaut, M. 1994. *Antonie van Leeuwenhoek*. 66:187-208.
- Kurth, JM. *et al.* 2020. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 104:6839-6854.
- Lyu, Z. *et al.* 2018. *Current Biology*. 28:R727-R732.
- Yu, G. *et al.* 2021. *Animals (Basel)*. 11:3540.
- Roque BM. *et al.* 2021. *PLoS ONE* 16: e0247820.

響，連續餵飼非基因改造黃豆和基因改造黃豆各組別之間，器官重量未見顯著差異。此外，在非基因改造黃豆和基因改造黃豆餵養大鼠的高劑量組中，沒有觀察到肉眼或組織病理學損傷。此研究顯示，市售基因改造黃豆與非基因改造黃豆對於大鼠具相同食用安全。

二、前言

由於近年來氣候變遷，全球耕種面積減少，在人口逐漸增加之趨勢下，急需以新興育種技術來增加糧食產量，因此基因改造作物的栽種為另一選擇。美國是種植黃豆的第一大國，基因改造黃豆的種植面積達總面積的九成以上，黃豆主要為出口或作為榨油和動物飼料，在美國黃豆較少作為食物用途，每年每人平均消費不到 20 公克。黃豆由於富含碳水化合物、蛋白質及油脂等 3 大營養素，可製成豆腐、豆漿、豆干、醬油、味噌等豆製品，在台灣，每人每日的黃豆攝取量為 56.91 公克。臺灣每年需要黃豆量約 250 萬公噸，主要從美國及巴西進口，國產自給率僅 0.19%，因此，許多基因改造黃豆在台灣會被拿來作為民眾食用。雖然基因改造黃豆進口前都須辦理查驗登記，評估基因改造作物或食品之性質、外表型、農業性能、組成分析、營養學分析等，評估其與親本植物是否實質等同，並確認過敏原等，通過食品安全評估審查始能在消費市場流通，但國內許多團體仍質疑業者所提供之食品安全評估資料之客觀性，無法安心使用基因改造黃豆。本研究將抽驗市售基因改造黃豆，進行客觀公正之大鼠 90 天亞慢毒性試驗食品安全評估，以釐清國內市售基因改造黃豆之食用安全性。

三、結果

(一) 確認市售基因改造黃豆之基因改造成份

市售基因改造黃豆之食品安全評估

生資中心 / 研究員
林奐好

一、摘要

儘管商業化之基因改造黃豆已通過安全性評估審查，且基因改造黃豆在政府食品安全衛生規範管理下核准進口銷售，但是仍有一些消費者擔憂基因改造黃豆的安全性。本研究針對市場上作為食品的基因改造黃豆，進行食品安全性評估，在台灣市場隨機購買兩種市售基因改造黃豆和一種市售非基因改造黃豆，並對其

進行整體食品毒性評估。本研究進行大鼠 90 天亞慢毒性試驗，評估市售基因改造黃豆之食品安全，將 SD 品系大鼠分為六組，每組共 20 隻，雌雄組各半，並分為低劑量組和高劑量組，分別餵食 1 g/kg/day 及 5 g/kg/day 兩種劑量。大鼠每日餵飼基因改造或非基因改造黃豆樣品，持續 90 天。實驗結果顯示，大鼠之體重、器官重量、生化、血液學和泌尿學均未顯示出生物學上之不利影

市售黃豆樣品皆在台灣市場購買，透過產品標示選購，非基因改造黃豆樣品 (non-GM) 選自加拿大進口，2 種市售基因改造黃豆樣品 (GM-1、GM-2) 則為美國進口。黃豆樣品經 PCR 分析，試驗結果顯示，基因改造黃豆樣品 (GM-1、GM-2) 可檢驗出 P35S、T35S、Tnos、*cp4 epsps*、*pat* 及黃豆特異性基因 *lectin*，而非基因改造黃豆樣品除黃豆特異性基因外，無檢測到任何基因改造片段，證實樣品標示之正確性。

(二) 大鼠 90 天餵食安全性試驗

黃豆樣品經高溫滅菌處理，經乾燥磨粉後存於 -20℃ 備用，動物試驗選用 5 週齡之 Sprague Dawley (SD) 大鼠進行連續 90 天餵食試驗，將基因改造及非基因改造黃豆樣品以水稀釋，每天餵食大鼠 1 g/kg (低劑量)、5 g/kg (高劑量)，每組共 20 隻大鼠，雌雄鼠各半。試驗過程中，因餵食發生失誤導致有兩隻大鼠在試驗一週內死亡，其餘大鼠皆正常生長，在餵飼 35 天後，與非基因改造黃豆組相比，低劑量基因改

造黃豆 GM-1 及 GM-2 之雄鼠體重增加及飼料消耗量增加，但雌鼠並沒有觀察到此差異，且高劑量組亦未觀察到此差異 (圖一)。

大鼠之血液學分析，在各組間之血液值、紅血球總數、白血球總數、凝血值、血球容積比、APTT、單核球、嗜酸性球，因個體差異雖略有上升或下降現象，數值均仍在 8-16 週齡 SD 大鼠正常生理值範圍內，並不具臨床病理意義。在大鼠血清生化值，各組別間之總膽固醇、三酸甘油酯、肌酐酸、乳酸脫氫酶、白蛋白、葡萄糖、磷離子、鎂離子，因個體差異雖有顯著差異，但數值均仍在 8-16 週齡 SD 大鼠正常生理值範圍內，且無相關臨床症狀，並不具臨床病理意義。

試驗大鼠餵食第 0 天及 90 天分析各組雌雄鼠之尿液顏色、比重、酸鹼值、蛋白質、尿膽紅素原、葡萄糖、膽紅素、酮體、潛血反應、硝基鹽、尿沉渣白血球、紅血球、上皮細胞、結晶體等均無明顯差異。

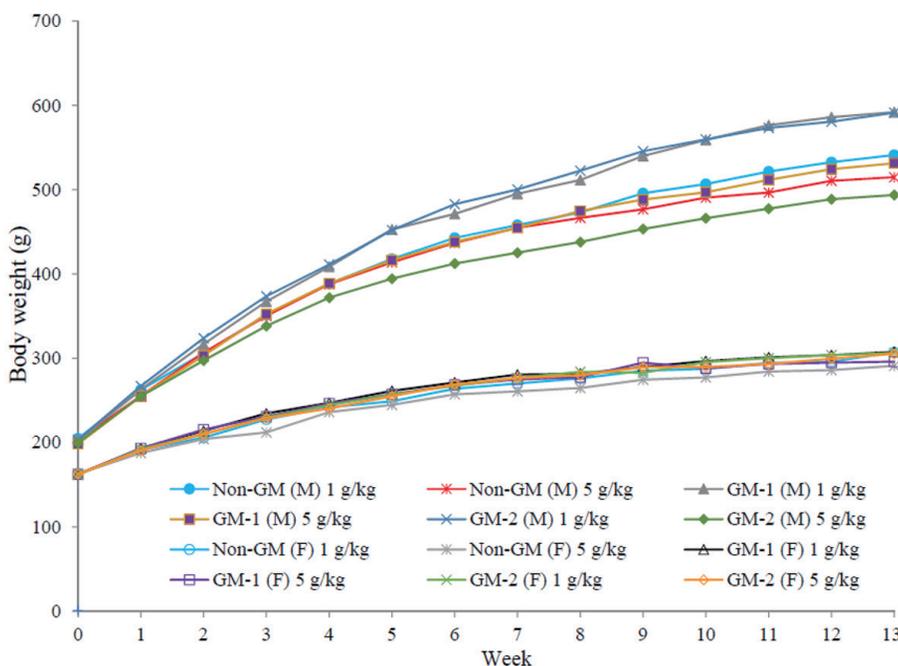
體內臟器重量百分比，在雄性大鼠中，與非基因改造黃豆組相比，基因改造黃道高劑量組

中，腎上腺重量增加，其他器官重量並未有顯著差異 (表一)。此外，在高劑量組之非基因改造組、GM-1 組或 GM-2 組中，肉眼檢查和組織病理學檢查均未顯示有生物學上的病變。病理檢查中觀察到的一些非特異性病變，包括哈德氏腺、心臟和前列腺的單核細胞浸潤；腎囊腫，胰島纖維化；脾臟漿膜纖維化和肺肉芽腫，可能是由餵食黃豆時引起窒息造成的。這些非特異性的損傷，是隨機發生在非基因改造組、GM-1 組或 GM-2 組中。無論在雄鼠或雌鼠中，餵食非基因改造組、GM-1 組或 GM-2 組黃豆時，皆沒有明顯的問題或微觀損傷。

大鼠經餵食低劑量 (1 g/kg) 及高劑量 (5 g/kg) 之非基因改造黃豆及基因改造黃豆，其體重、飼料量、血液學、血清生化學、尿液學、臟器重量分析、肉眼觀察及組織病理切片等均無不良作用。綜合上述動物實驗可知，連續 90 天餵食基因改造黃豆，並未觀察到明顯不良反應，可知非基因改造黃豆及基因改造黃豆之安全性為實質等同，可供國內消費者食用混合基因改造黃豆安全之參考。

四、結論

實驗結果觀察到餵食非基因改造黃豆、基因改造黃豆 GM-1 或 GM-2 之大鼠並沒有發現生理上之副作用。連續 90 天餵食基因改造黃豆後，顯示基因改造黃豆並沒有發現任何毒性，也沒有發現任何證據顯示雄性或雌性大鼠對健康有不利影響。市售基因改造黃豆基本上等同於非基因改造黃豆。目前研究顯示，沒有證據證明商業化之基因改造作物及其產品存在食品安全問題，但為減少消費者對這種現代生物技術衍生食品的安全擔憂，仍需持續對相關產品進行市場監測和安全評估。



圖一 大鼠餵食 90 天基因改造或非基因改造黃豆之體重變化 (Lin *et al.*, 2022)。

表一 大鼠 90 天餵食試驗之相對器官重量變化 (Lin *et al.*, 2022)

Group/Organ ^a	Non-GM (g/kg)		GM-1 (g/kg)		GM-2 (g/kg)	
	1	5	1	5	1	5
Male						
Adrenal (%)	0.08 ± 0.02	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.10 ± 0.02*	0.08 ± 0.02	0.11 ± 0.02*
Brain (%)	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.0
Heart (%)	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.0
Liver (%)	2.4 ± 0.3	2.2 ± 0.2	2.4 ± 0.1	2.4 ± 0.2	2.3 ± 0.2	2.2 ± 0.2
Kidney (%)	0.6 ± 0.0	0.7 ± 0.1	0.6 ± 0.0	0.6 ± 0.1	0.6 ± 0.0	0.6 ± 0.1
Spleen (%)	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
Thymus (%)	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
Testes (%)	0.6 ± 0.0	0.7 ± 0.1	0.6 ± 0.0	0.7 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.7 ± 0.1
Female						
Adrenal (%)	0.18 ± 0.01	0.2 ± 0.05	0.18 ± 0.06	0.18 ± 0.06	0.20 ± 0.05	0.19 ± 0.05
Brain (%)	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.6 ± 0.1
Heart (%)	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.0
Liver (%)	2.4 ± 0.3	2.3 ± 0.4	2.3 ± 0.4	2.4 ± 0.5	2.4 ± 0.3	2.2 ± 0.4
Kidney (%)	0.6 ± 0.0	0.7 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.6 ± 0.1
Spleen (%)	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.1
Thymus (%)	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
Ovary (%)	0.02 ± 0.0	0.03 ± 0.0	0.02 ± 0.0	0.02 ± 0.0	0.03 ± 0.0	0.02 ± 0.0

Data are expressed as the mean ± SD (n = 9-10). ^aRelative organ weight (%) = (organ weight (g)/final body weight (g)) × 100%.
*Significant difference between the same dosage of non-GM and GM groups at p < 0.05.

參考文獻

Lin HY, Liao JW, Chen RS, Chang CH, Chang HW, Chang SC, Chu WS, Lin CK, Lin HT.

2022. Food safety assessment of commercial genetically modified soybeans in rats. *Foods*. 11: 496.

生物資源保存及研究簡訊 第134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：王俐婷、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

