

發酵副產物之綠色奇蹟

憑藉生物技術的力量，食品綠色科技將能促成回收與減廢，增進環境品質。

林世斌

隨著科技的進步，人類的生活品質表面上得以提升，然而常以環境的破壞作為代價，即使經濟上得以損益平衡，但人類在環境生態及健康議題上卻顯得倒退。

為了解決科技帶來的環境破壞議題及直接導致的生態浩劫，近年來科學界開始推行綠色科技，將友善環境的內涵，置入人類科技的發展，重新省思人類發展與環境互動的關係。其宗旨在維護自然環境與資源的永續發展以及減低人類活動帶來的負面影響。

發展綠色科技一方面可提高資源和能源的利用率，另一方面也能夠減少有毒物質的使用以及減少廢棄物的產生，減輕對環境污染的負荷以改善環境品質。其中，資源回收利用的意義在於循環使用地球上的資源，務使資源的利用可以做到零廢棄物，對日益嚴重的垃圾問題將有緩解的作用。相應於綠色科技落實環境的永續發展，生物資源的回收再利用在食品工業領域已成為發展重點，而食品發酵產業則是該發展趨勢的重要示範產業。本文探討的主題「發酵食品廢棄物」包含兩個領域：（一）發酵食品廢棄物利用——透過生物技術將食品發酵工業產生的廢棄物轉變為副產物；（二）食品廢棄物發酵——利用發酵技術將食品加工廢棄物進行發酵，以產製產品。

兩者皆兼具在資源回收與將廢棄物變身為副產物的重要功能。

副產物的綠色思維

食品發酵產業歷史悠久，食品發酵過程中及產品製程中所產生的廢棄物，如酒類釀造工業產生的廢水及酒粕與乾酪（cheese）製造業所產生的乳清廢水，就含有大量的生質（biomass），它們若排放到環境中雖不致產生毒素，但卻常造成環境衛生的問題，如果排入河川則容易因其含有高營養分有機質而造成河川的優氧化，破壞生態環境。因此如何將廢棄物回收減廢，甚至創造新的價值至為重要。

微生物發酵過程會生成多種代謝物質，其可分為初級及二級代謝物質：初級代謝產物（primary metabolites）發生在微生物指數增殖期，屬於維持生命之必要代謝產物或伴隨能量生成之產物，如酒精、胺基酸、有機酸、核苷酸等。二級代謝物（secondary metabolites）則發生在微生物生長的靜止期，屬於非生長所需，卻具備與生存有關的生態功能、如抗生素、色素及多醣體等。因此，在釀造過程中，除了主要產物以外，仍有許許多多的代謝物成份被產生，有成為副產品的潛力。事實證明，這些副產物經過生物技術的回收與開發，甚至有可能

超過主產品本身的價值。

有賴於生物科技的長足發展，從發酵產品中回收可資利用的成份，例如有機酸、動物飼料、食品添加物等，已逐漸成為趨勢，且對傳統的發酵產業市場造成改變。過去的微生物發酵產業主要以產量規模小，但價值較高的產品為主，例如抗生素的製造。然而，隨著資源循環利用的概念開始萌芽，伴隨著發酵科技的升級，產量規模大但產品價值相對較低的發酵產品所受到的注意，已逐漸超越傳統的發酵產品。目前，農產工業廢棄物的生物技術處理技術潛力受到廣泛的注意，例如木薯渣、蔗渣、甜菜根粕、咖啡殼渣、果渣、米糠等廢棄物，已被用來作為發酵製造酵素、有機酸、醇類、胺基酸、調味料等的原料來源。

發酵食品廢棄物利用

酒粕應用

酒粕係指酒類加工過程後所產生之穀類殘渣，一般視為酒類發酵的廢棄物。產量較大者包括玉米酒粕、高粱酒粕及啤酒酒粕。其因含有豐富的粗蛋白及其他營養成份，過去常被用來當做肥育禽畜魚類等的飼料原料。這樣的傳統應用途徑仍舊是把酒粕當作廢棄物來看待。然而，由於生物科技的蓬勃發展，酒粕這樣的材料又被重新檢視而有了新的價值。酒粕中含有大量的酵母菌及包括初級及二級代謝物質，因此富含生物機能性物質，極具開發潛力。近年來的研究發現，高粱酒粕成分中含抗氧化物質阿魏酸（ferulic acid），其具有抑制酪胺酸酶（tyrosinase）的作用，可能具有幫助抗氧化及美白的效果。近年來風行的酒粕面膜即是將此一發現應用於美妝產

品的成功範例。酒粕種類以啤酒酒粕規模最大，其所含機能性成份的回收及產品開發利用的潛力受到矚目。

啤酒廢酵母含有豐富的蛋白質，並且富含人體必需的8種胺基酸，特別含有穀物蛋白中含量較少的離胺酸（lysine）。啤酒酵母中的胺基酸組成比例接近聯合國糧農組織（FAO）推薦的理想胺基酸組成值，所以它的營養價值很高。啤酒酵母也富含維生素B群及人體所需的磷、鐵、鈣、鎂、鋅、錳、硒、鉻等微量元素。其中鉻元素與維持人體正常血糖值有關，硒可以保護心臟、抑制心血管病的發生和發展。生物技術在釀造工業中得到廣泛應用，在啤酒工業中也已利用其開發多種再生性資源，生產各種生物活性物質，如膳食纖維、低聚糖、生物製藥、酶製劑、活性肽等。從積極面來看，啤酒酒粕不但據以生產出高科技產品，在消極面來看該技術也同時解決了環境汙染問題，從而明顯提高了經濟效益和環境效益。其中技術較為成熟且較受矚目的發展方向包括：（一）天然調味料——利用萃取技術提取啤酒酵母中的胺基酸、肽、核苷酸、維生素及微量元素等，由於其營養豐富且具滋味，可作為天然調味料的來源，具調味與營養兩種功能。（二）生物製藥工業應用——目前利用啤酒酵母在生物製藥工業中，已開發的主要產品包括核苷酸類藥物、果糖二磷酸鈉（Fructose Diphosphate, FDP）和谷胱甘肽（Glutathione, GSH）等。果糖二磷酸鈉是人體細胞內的代謝物質，能調節葡萄糖代謝中多種酵素的活性，可作為改善細胞代謝的藥物。FDP能顯著改善心臟機能，緩和冠狀動脈阻塞，可作為心肌梗塞、心肌缺血等症的用藥。



酒類加工的副產品酒粕，除能作為飼料原料，也能用於生產各種生物活性物質。

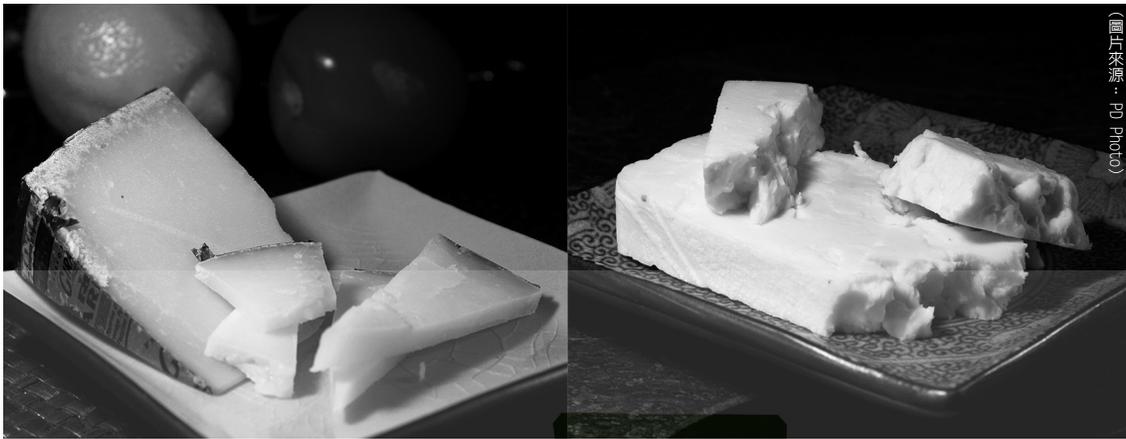
谷胱甘肽由谷胺酸、半胱胺酸、甘胺酸構成的三肽，具有作為動物細胞中的抗氧化劑的功能，可以保護 DNA 免於氧化，也參與肝細胞的解毒功能。在日本約有 20% 的啤酒酵母發酵廢棄物被回收後用來作為製作生化藥品的原料，而谷胱甘肽即是其中重要的產品之一。

啤酒釀造產生的廢棄物除了酒粕之外，二氧化碳是啤酒發酵的一項重要副產物。在主發酵過程中，二氧化碳大量集中地排放出來，每噸啤酒在發酵過程中約可產生 20 公斤的二氧化碳，不僅量大且品質優良。二氧化碳的排放不僅會對環境造成影響，而且也是資源的一種極大浪費。將二氧化碳回收淨化後，不但可以用於後續的酒料保存，降低氧氣存在下的酒液氧化，也可減少了環境汙染。因此二氧化碳的回收利用有可觀的經濟及環境效益。

乾酪的發酵廢棄物—乳清

乾酪 (cheese) 是歐美盛行的重要發酵食品。據說乾酪的製作方法是在遠古時代

阿拉伯遊牧民族無意中發現的。由於阿拉伯遊牧民族常以小牛的胃作成皮囊來裝牛奶或飲料，當橫越沙漠時，他們偶然發現皮囊內的牛奶會分成兩層，即液體狀的乳漿與塊狀的凝乳。今天我們已知這是因為小牛胃富含凝乳酵素 (rennet)，牛奶在高溫下震盪混合，進而發酵成乳漿和凝乳。凝乳即乾酪製造的粗原料，經加工熟成後即我們所熟知的乾酪產品。然而，乳漿的部份則被稱為乳清 (whey)，僅含約 6% 固形物，幾乎沒有開發價值。對生產工廠而言，具有廣大的市場的乾酪才是能夠獲利的來源，乳清因而淪為廢棄物，不是被當成養殖業的飼料原料，就是被排放到下水道。後來的研究發現其含有相當量的蛋白質 (即乳清蛋白，whey protein) 和少量脂肪，以及乳糖、維生素和礦物質，因此被加入其他食品如麵包及餅乾中來增加營養價值。隨著營養科技的進步與環保意識的高漲，這些原本被當作垃圾或回收物處理的乳清開始漸漸的為人們所重視。由於乳清中含有人體所需的高品質蛋白質、維生



乾酪又名乳酪、起司，一般呈乳白色或金黃色，為常見的發酵食品。

素與礦物質等微量元素，並且全是人體易於消化吸收的，因此乳清便開始大量應用於食品添加物與健康食品等產業。

乳清蛋白中， β -乳球蛋白含量最多約佔 50%，可提升牛奶加熱後的風味，次為 α -乳白蛋白，約佔 25%，其它為血清蛋白、免疫球蛋白等。有研究發現乳清蛋白質提供了嬰幼兒的免疫能力，這些免疫球蛋白在剛分娩後分泌的初乳中含量極高。此外，乳清蛋白富含支鏈胺基酸，具有保持肌肉活力，維持身體代謝正常運作之功效。另外有研究也指出，乳清蛋白與其消化之水解產物可提升消化道功能、增加谷胱甘肽的產生，可以強化免疫機能。我國認證的健康食品中即有以可促進體液免疫反應功效為訴求的乳清保健產品。

乳清蛋白含有完整胺基酸群，近年為運動員所熱愛，並且成為目前健美界最流行與使用最普遍的蛋白質補充品，也因此被運動員營養師用來作為運動員食品的添加劑。乳清蛋白在

今日運動營養品市場上擁有極高的評價，乳清蛋白產品更成為越來越暢銷的綠色食品。

食品廢棄物的發酵利用： 乳酸製造

乳酸的用途非常多樣化，而且產業需求量也極為龐大，在許多產業具有重要的地位，包括食品、包裝、化妝品製藥、皮革、



乳清蛋白的罐裝商品。乳清蛋白提煉自乳清，可作為膳食補充劑。

化學藥品工業等。在食品工業中乳酸常被用來調節食品的酸度，除了調味的功能外，也有抑制微生物生長的功能。食品中的乳酸可以透過乳糖發酵獲得，但大多數是經由細菌發酵澱粉所製成。在化妝品工業中，乳酸常用來取代乙醇酸，因為它比乙醇酸的刺激性要小。初步研究發現其具有減緩皺紋、減輕陽光造成的傷害、加強皮膚結構等效果。此外，它還有極佳的保濕效果。在製藥工業中，乳酸可用來製造抗粉刺藥物，亦常出現在各類藥膏及乳液中。在包裝工業的應用方面，乳酸為製造聚乳酸（poly lactic acid, PLA）的單體，聚乳酸目前被廣泛地應用於包裝工業。由於其具有生物可分解性質（biodegradable），因此其本身就極具「綠色」概念的價值。此外，乳酸酯（lactate ester）是製造環保清潔劑的重要溶劑，美國環保署已將乳酸酯認證為環境友善的無毒成份，此更增加了乳酸製造工業的可發展性。

乳酸最早是從酸乳酪中分離出來，早期的製造方式多以化學合成為主，但這樣的製造方法已慢慢被乳酸菌發酵工業所取代。主要的原因是用生物轉換法所製造出來的乳酸較具安全性，製程中所製造的廢棄物也較具環境友善等特性。食品或農產工業廢棄物仍含有豐富的可發酵成份，以這些廢棄物作為培養基質進行發酵，不但可以達到減廢的功能，也可有效降低成本。

乳酸發酵所需的碳水化合物可從食品加工廢棄物取得，包括木薯渣、蔗渣、甜菜根粕、咖啡殼渣、果渣、米糠、糖蜜、富含澱粉的馬鈴薯、樹薯、米、麥加工廢棄物等。乳酸菌是微生物製造乳酸的主要菌種，通常以乳糖、葡萄糖、蔗糖及低聚

合度的糖類為主要碳源，部份乳酸菌則具有水解澱粉的能力。然而食品加工廢棄物中的碳水化合物常以醣類聚合物如纖維素的形式存在，導致乳酸菌無法順利發酵廢棄物製造乳酸。因此必須預先將纖維素或澱粉降解成乳酸菌可發酵的醣類，才能讓乳酸菌順利發酵。為了達此目的，廢棄物可先於第一階段發酵中透過可生成纖維素酵素或澱粉酵素的微生物預先降解，然後在第二階段發酵中加入乳酸菌進行乳酸發酵。無論是一階段發酵或是兩階段發酵，目前都已有成功的案例。除了碳水化合物外，微生物發酵尚須氮源。由於農產廢棄物通常欠缺含氮物質，也因此必須另行補充。前述的啤酒工業廢棄酵母菌萃取物，即常被用來作為氮源的主要來源。此外，米麥加工所產生的米糠及麩皮含有高量的蛋白質，也是理想的氮源補充基材。

結語

食品廢棄物隨著工業化及全球人口數的增加而遽增，但諷刺的是全球處於飢餓及營養失衡的人口卻也是有增無減。此外，食品廢棄物被消化的速度也遠遠不及其被產生的速度，甚至危害到環境的生態。值此同時，藉由生物技術所主導的食品綠色科技適時出現，將廢棄物轉變成高產值的副產物變為可能，雖然其減廢效率離理想目標仍有一段不小的距離，但從本文所介紹的成功案例觀之，食品廢棄物的綠色奇蹟仍值得努力與期待。🌱

林世斌：任教宜蘭大學食品科學系