

論食品機械對食品製造供應鏈碳足跡的衝擊

財團法人食品工業發展研究所 黃世榮

一、前言

全球升溫加劇氣候災害成本，欲控制全球暖化，需達到淨零碳排(Net Zero)，抑制二氧化碳排放量持續增加。198個國家中亦有133國宣示2050年淨零排放目標，此後政策與法令的制定勢必影響企業經營的策略，其中相應的國際政策則是歐盟碳邊境調整機制，CBAM碳關稅，於2026年正式施行，國內環保署也制定氣候變遷因應法，使碳費正式上路，金管會也推行綠色金融行動方案，其他如碳揭露(CDP)利用線上問卷填報結果分成不同評級，公司在治理上，運用資金與投融資決策力、強化資訊揭露、增強氣候韌性、協助金融機構對產業支持，顯見碳排放量已變成國際產品成本。此外許多品牌大廠也開始承諾淨零或碳中和目標，要求供應鏈做出氣候承諾，如Apple、Dell、Nike、P&G，供應商產品碳足跡與減碳績效會被列入公司採購重要指標，顯見企業要生存，對內除了要做碳盤查，也需要每月開會檢視使用能源現況，而對外，則邀請供應商共同訂定減碳目標，並要求高碳排放者須取得溫室氣體盤查證書，新廠也需導入節能評估。而台灣政府的相關部會如環保署、能源局與經濟部工業局也提供了許多資源，如線上碳盤查計算器、各類人才訓練班、以及不同次產業的專家團與輔導團隊，能提供簡易碳盤查與產品碳足跡計算演練，協助製程優化與能源管理輔導等。(資料來源：<https://zerotracker.net/>，2023.1.31)

二、食品供應鏈減碳路徑分析

組織(公司/工廠)溫室氣體盤查與量化為掌握企業碳當量排放的基本功，惟有完整了解企業的溫室氣體排放結構，才能針對營運或製程痛點訂定有效的溫室氣體管理或減量措施。目前台灣食品產業超過7,500家，其中上市、櫃的大型企業約28家，佔產業整體約0.4%(圖1)，近年因受到政策法令、國際市場趨勢等因素影響，逐步提出能源管理、溫室氣體盤查、綠色產品等執行策略，以因應企業永續發展的議題，但多數中小企業認為溫室氣體排放管理對於自身營運管理影響甚小，對於環境永續、溫室氣體或節能相關議題保持觀望態度，以至於國內食品產業供應鏈的碳足跡資訊透明化程度低，造成溫室氣體盤查與溫室氣體減量措施的推動窒礙難行，增加我國食品產業達到「淨零排放」目標的困難度。

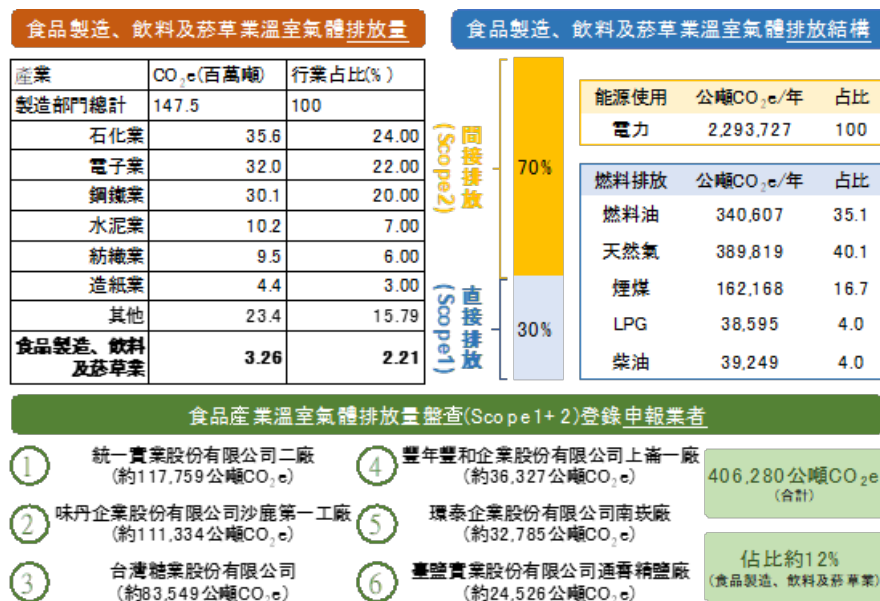


圖1 食品產業碳排放現況 (資料來源：2021國家溫室氣體清冊報告，經濟部工業局；能源平衡表，經濟部能源局；事業溫室氣體排放量資訊平台，環保署；FIRDI 南臺灣服務中心整理，2022)

食品生產供應鏈的減碳路徑，大致上分為五類如下(表1)：

1. 低碳產品開發：如Danone跨域研發植物基產品(植物奶、冰淇淋等)，強化植物基新品的研發及替代配方調整；Premier規劃2030年植物基食品銷售量擴增3倍，提供更多健康、低碳食品；General Mills投資植物基海鮮公司Gathered Foods，爭取植物基食品市占率。
2. 協力上游減碳：Nestlé透過非基改育種技術，研發低碳咖啡品種，與原種Robusta咖啡豆相比，每顆咖啡樹平均產量增加50%，每杯咖啡二氧化碳排放減少30%；Pepsi與英國CCm技術公司合作，將馬鈴薯皮轉為肥料，減少種植過程產生70%碳排放；McCain Foods 2030年使用的馬鈴薯100%來自再生農業，同時降低25%碳排放(馬鈴薯種植、儲存及運輸)
3. 採用綠色包裝：Coca-Cola使用回收PET瓶再製成包裝瓶(rPET)；紙板取代塑膠收縮膜等；PG Tips研發100%可生物分解的玉米茶葉袋及去掉茶葉外裝盒的塑膠薄膜；Macphie與Tetra Pak公司合作，將醬包與甜點等外箱包材改為含87%植物基材質，減少碳足跡11%。
4. 最小製程碳排：Suntory投資1,300萬英鎊設置高速裝瓶生產線，減少40%水及能源消耗；Mondelēz英國六個工廠營運供電使用100%可再生能源；Unilever冷卻設備製冷劑(三氟甲烷)改為氨或二氧化碳等替代材料。
5. 減低儲運碳排：Mars與國際物流公司DHL合作設兩座智慧物流倉儲，倉儲能力提升50%，減少7.7%碳排放量；AB InBev's汽油或柴油運輸燃料改用氫燃料、油電混合、電動車替代；與民生用品公司及供應商合作，互相搭載產品運輸，減少空車里程；Campbell透過數位工具優化配送路徑，提升配送效率；使用海運、鐵路等相對低碳運輸模式。

表1 國內食品標竿企業減排作法與路徑(資料來源：食品所ITIS，2022)

碳路徑面向	廠商名稱	碳排放減量承諾與製程節能方式
低碳產品	福壽	增加選用 本土芝麻 做為原料之比例，預計可減少1%碳足跡
	統一	原料 棕枒油的使用量 進行調整，預計可減少1.5%碳排放量
擴大綠色包裝採用	統一	產品主要包裝設計改良
	舊振南	將 外盒/箱包材 替換為 全回收材質 後可減少鳳梨酥約3年2%的產品碳排放量
最小製程碳排	維他露	一年內碳排放減量1%。以 瓶身輕量化 的方式達到減量的目標
	統一	製程設備效率提升(新設多 包裝機)、廢水沼氣處理(新設 沼氣發電機)，降低製程所需耗能
	黑松	改善 廢水處理設備 ，以螺旋式鼓風機取代魯式鼓風機； 汰換冰水機 ，約可減少用電量2%
	福壽	導入 AI智能生產管理系統 ，隨時監控原物料投入及生產情形，並依監控結果調度生產作業，以有效管理原物料損耗及產線耗能狀態
	台灣糖業	調整肉品存放至 冷藏庫之規則 ，在冷藏庫未滿庫之前不開啟其他台，預計於淡季時將可減少1台使用，此規劃能降低廠內之冷藏電力消耗，預計可於五年內減少1%的整體碳排放量
	可口可樂	冰水主機冷凝器改善 ：可減少總碳排放 0.3%； 製程水泵浦供水改善 ：減少總碳排放0.4 %； 高效能空壓機 ：可減少總碳排放0.1 %
	石安牧場	場內最大排放源為電力，石安牧場將持續汰換場內老舊設備並加裝變頻系統， 替換為變頻設備 後約可降低4%耗電量，預計未來五年內可減少整體碳排放量約1%
	三皇	重油鍋爐換裝為天然氣鍋爐 透過這項措施，預估5年可減少1.5%碳排放量
	台灣農畜	汰換 老舊設備 ， 提升使用效率 ，降低電力使用，預估減少2%碳排放量；使用LED省電燈具及感應式燈具， 節能減碳 ，預估減少1%碳排放量
	祥圃實業	設置 沼氣發電裝置回收廢水處理單元產出之沼氣 ，預計減碳3%以上；分切場冷凍系統採用 雙壓縮機單冷媒系統冷凝機 ，一用一備並可由運轉容量調整與運轉台數控制達到節能效果，預計減碳1%以上。

三、食品機械於供應鏈上的碳足跡分析與減量策略

1. 數位化：顯然在食品製造供應鏈上，能有效遏制溫室氣體排放的關鍵在於產品型態設計是否考量原料的來源、所採用之加工製程，以及運輸碳排。在製造過程中，能大幅度改變品質、風味與成本的便是本地採購，因為它減少了距離和運輸，從而減少了因製冷而導致的溫室氣體排放，以保持良好的新鮮農產品，以及由於行駛里程而導致的燃料消耗。另一個關鍵點是在加工或製造時相關的製程能源使用，為了能夠確認製程能源的使用量並進行碳足跡減量的措施，其中針對食品工廠碳足跡佔比最高的電力使用其常見的關鍵方法之一是選擇智慧電錶來監測全區電力能源使用情況，以利採取措施減少能源消耗，例如不使用時關閉燈和機器，而屬於範疇一的直接燃燒或逸散的排放源則可藉由氣體流量計或間接感測的方式確認其能源耗用情形。另一個選擇是尋找更環保的燃燒能源選項，如風能、太陽能或生質能。水是另一種有限的資源，冷卻或清潔等製造過程需要大量工業用水，雖然碳足跡小，但常被忽視的關鍵問題則是台灣近來有季節性缺水，且伴隨水的使用往往牽涉其他高碳排製程與原料的耗用。

2. 包材回收設計與精準包裝：從使用者角度出發可發現最容易瞭解與實踐的應是包材回收，然回收供應鏈與處理方式因包裝型態與使用方法不同也有不同的包材回收困難度。食品一級包裝到用於帶回家的二級包裝、購物袋等，塑膠無處不在。依據資料推測全球可能僅有9%的塑膠被回收，其餘91%被扔進垃圾掩埋場或焚燒。2019年塑膠的生產和焚燒造成了約8億公噸溫室氣體，因此，許多廠商迫切研究環保包裝材料或可回收包材，以飲料包裝大廠宏全為例，其產品可100%回收製成寶特瓶，在環保回收上，能做到「B to B」(Bottle to Bottle)，並成功研發30%rPET收縮膜標籤產品，未來亦持續開發更多永續包材產品、循環再利用的綠色產品，如生質塑蓋、rHDPE、柔板印刷標籤、rPET標籤、連結蓋及包材輕量化等產品。其次，與包裝相關的碳排熱點或成本損耗則在於包裝製程的精確性與穩定性，精準包裝製程與包裝機的設計、設備操作參數與環境及包材品質有關，甚至是製造商規劃生產面向使用者的包裝和最佳化的產品尺寸後，為遏制浪費，亦在包裝機上進行彈性調整或進料包裝設計，除重新設計流程、自動化並搭配數位化控制或人工智慧進行食品包裝的生產、分揀和品質控制，避免因為包裝內容與外觀的不符合造成包材與產品的浪費，如充填量是否符合標準或是溢流噴濺導致的密封性損失與設備污染。其他也有冷膜包裝技術，可節省收縮包裝所用能源的90%、或者採用包材輕量化設計，以減少包材使用上的浪費。以Sidel PET吹瓶機為例，則是優化計算涉及不同瓶型的吹瓶參數，如電力、壓縮空氣、介質和包裝材料，根據它們在整體層面上造成的碳排放計算，針對包裝品質進行吹瓶空氣壓力的調整，便可以有效調整氣體的壓力與流量，從而優化壓縮機的電量消耗。

3. 食品機械創新與優化設計：在創新技術上，如要重塑產品製造鏈，無非是有新型態低碳排製造設備的開發與設計，搭配數位化管理，則有整合設備系統的碳智慧管理系統與碳熱點戰情室，其次則是在生產管理方面融入精實製造與排程管理系統，最佳化設備使用達到高效零廢生產。2022年的臺北國際食品展，TECO公司與其相關聯餐飲集團於會場上展示各項推動工廠的低碳策略，合併農業和食品加工行業提供一系列解決方案和節能產品，以幫助供應商減少排放和浪費，節省電力和資金。如農產方面推出了IE3高效九槽電機，專為水產養殖和漁業中的水輪和氧合裝置而設計，關鍵部件由不鏽鋼製成，具有出色的耐候性和耐腐蝕性，從而延長電機壽命，節能高達7%，概算可一年內收回成本。其他產品亦有鑄鐵電機、不鏽鋼電機、減速器、IE5 EC風扇電機和節能變頻裝置系列則可以滿足不同食品行業的需求，如豬和家禽養殖、食品製造、加工和包裝中的水壓和溫度控制需求。在公用能源方面，則採用人工智慧技術的商業製冷和冷氣機系統可以在最佳化模式下執行，幫助食品行業實現最佳節能效果，該系統為裝置整合了天氣預報、容量預測和能耗模擬軟體，自動分析和發送現場裝置的參數搭配人工智慧軟體以最佳化模式執行，以節省能源並提高工業競爭力。而智慧物流技術於冷凍和冷鏈技術提供了出色的溫度控制，以保持農產品的新鮮。數位化運轉控制、不必要的等待時間和碳足跡計算分析，創造一種有利於消

費者和供應商的商業模式。油炸整廠設備專業製造商「總興實業」為提升公司競爭力，產品則推出節能超過10%的「節能式油炸機」，其「油炸生產線上細過濾機」，可濾掉粒徑細小的油渣，甚至是微米粉塵，到今年新增具「節能」特色的油炸機，省能超過10%，皆擁有德國萊因公司ISO9002國際品質、歐洲CE、美國UL等認證，品質可與歐美先進國家媲美，油炸機設計也從節能、改變生產方式及採自動化方向著手。為減少能源及油炸用油的消耗，於加熱爐上做能源回收、2次加熱的設計，並取得歐美台、中國大陸等各國專利。而融油量減少，使用的動能減少，可幫企業節省10%以上的能源。以包餡機或中式點心的生產設備為主的安口機械推出符合歐盟和美國法規的低GWP「R1234ze」機台，取代舊型的「R134a」，在當前市場使用新型環保冷媒「R1234ze」的機台，其降溫成效並不如「R134a」理想，安口投入大量研究成本，改造機器結構研發出適用環保冷媒「R1234ze」的機台，利用機器的負載測試，確認新的冰水機系統可使水溫短時間內，安口新型機台能達到和「R134a」相同的製冷能力。快特勵食品機械有限公司，研製出“超節能瓦斯蒸箱”，並為蒸箱配備了蒸汽循環對流裝置、消音器和減壓閥，使熱量在蒸籠內均勻循環，使產品蒸煮均勻，保留食物原味；徹底突破傳統蒸籠在蒸食物、蒸糕、蒸鱸魚、蒸包子時，容易造成熱量分佈不均和滴水的問題，生產的蒸櫃與傳統的燃氣蒸鍋相比，可節省兩倍的燃氣量。金瑛發的「水淋式殺菌釜」能節省能源、縮短殺菌製程時間，並於升溫、殺菌、冷卻過程中沒有外部生水進入釜內，產品不會有再次汙染的問題，冷卻水更可以100%回收再利用。

結論

食品製造工廠該如何做到減量，從溫室氣體盤查建立基礎資料，掌握碳排熱點後，進行碳排減量，其三大方向為分別為燃料替代：燃油燃煤改燃天然氣、再生燃料；能效提升：建置能源管理系統，導入高效率節能技術與設備、智慧化能源管理資通技術；製程改善：新製程技術導入、設備改善與汰舊換新，進行低碳生產技術應用評估與成本效益分析。許多食品加工機械已開始著手設計高效率節能設備，並整合廢熱回收機制與新型環保冷媒，然尚須考量系統建置成本是否划算，其次則是設備數位化基底建設，以利導入ICT技術監控與管理系統耗能，接著就是製程改善方面則須考量馬達或泵浦增設變頻控制調速與升降溫製程匹配等。

四、參考資料

1. <https://zerotracker.net>

<https://www.anko.com.tw/zh-TW/page/esg-eco-friendly-refrigerant.html>

<https://www.yuanjaan.com/news/444>

<https://tw.stock.yahoo.com/news/電機股-食品展-東元推低碳工廠解決方案-084109677.html>

<http://www.cyf.com.tw/exec/productd102.html?mod=list&cid=20&lg=T>