



邁向淨零碳排的 食品冷鏈體系

李皇照¹

一、前言

推動農產食品冷鏈體系之建構與完善，列為第6次全國農業會議決議的重要工作事項之一。2021年1月經行政院核復同意辦理，並通過84億經費，作為建構農產品冷鏈物流及品質確保示範體系之4年期中長程計畫，落實執行農糧、畜產和漁產品之冷鏈區域物流中心，導入農產品冷鏈新技術；辦理重要批發市場冷鏈設備升級，強化農產品安全管理機制；建立農產品全程冷鏈外銷及長程貯運示範模式；以及推動漁、畜

供應鏈之原有及建置冷鏈系統升級，提升冷鏈效率及品質。2021年起，開始積極辦理農產食品冷鏈體系之建構與完善相關工作，期能推升農產食品之品質與安全，降低產品損耗，並提高食品供應鏈相關參與者所得，確保生產者和消費者之福祉。

蔡英文總統於2021年4月出席「永續。地球解方——2021設計行動高峰會」開幕典禮時表示，大家都有一個共同的目標，就是透過減少碳排放，來降低氣候變遷的速度，進而縮小災害，讓人類及萬物都有永續生活

註1：國立中興大學行銷學系退休教授。

的環境，同時也會改寫經濟的邏輯；臺灣也正積極部署在2050年達到淨零排放目標的可能路徑，除了穩定推動中的能源轉型，包括製造、運輸、住宅、農業等部門，也必須提出系統性的減碳策略（總統府新聞）。行政院長蘇貞昌也在行政院會表示，將在「2050年淨零碳排」的目標下，進一步統籌評估可能的途徑，加快、加大與世界同步。

傳統的食品冷鏈是屬能源密集型產業，食品供應鏈活動的能源耗用，運輸、儲藏等作業使用的製冷劑，通常具有很高的全球暖化潛能值（Global Warming Potential, GWP）。因此，推動農產食品冷鏈體系之建構與完善計畫，提高農產食品之品質與安全，降低產品損耗，裨助達成糧食安全目標。然而，如何同時兼顧減少碳排放，朝向建構淨零碳排之農產食品冷鏈體系，是項極具挑戰的任務，亦是應該持續努力的目標。

二、農產食品冷鏈之好處

冷鏈對現代經濟社會至關重要，食品冷鏈為人們提供多樣化食物、減少食物損耗和浪費量，以及保持食品品質、安全和價值；也為改善農民收益提供機會。冷鏈是一套供應鏈活動中的溫度和濕度控制系統，它整合一系列預冷、儲存和配送等作業之運營管理。冷鏈效能適用於各種食品和飲

料商品，以及醫療藥品，最常見的是蔬菜、水產品、肉類和乳製品等易腐爛農產食品。農產食品冷鏈作業是複雜的，它要適合不同品類產品供應途程之溫／溼度需求條件，必須具有不同標準要求或物流設備，並且要符合全球或區域價值鏈特定情境之各異需要。發展冷鏈的關鍵推動力量，通常必須整合農業、衛生、金融和能源等不同部門的政策，共同塑造並協同推動，始能奏效。

推動食品冷鏈的好處，基本上，主要顯現於幾個方面：

- （一）減少糧食損耗和浪費：冷鏈可以在生產、加工、儲存，和配銷階段發揮重要作用，減少糧食損耗。當前許多食物損耗主要是來自供應鏈中的食物不良儲運造成的，尤其易腐農產食品需要冷藏／冷凍，但在供應鏈途程並未被合宜地管理照顧。合適設計和建置的冷鏈系統，可以防止這些損失，並減少與食物浪費相關的溫室氣體排放。糧食損耗和浪費導致自然資源使用緊張，也造成經濟損失，這是該面對的重大挑戰，它發生在整個食物供應的不同層面，其嚴重程度取決於一個國家的經濟、食品消費習慣和現有的冷鏈基礎設施。
- （二）確保食品安全和保障：良好的冷鏈體系將食品安全地運送到

需求點，並延長易腐產品的保質期。在食品供應鏈活動中，通過合適的包裝作業，保持適當溫度／濕度儲存條件，運用妥當的溫控運輸載具，將保持良好狀態的產品，適時遞送到達最終消費者處所，不僅降低某些食源性疾病的風險，也同時增加消費者獲取易腐性和有營養產品的選擇機會。

(三) 疏緩季節性產品量價大幅波動：隨著冷藏設施／設備的建置，季節性生產農產品，可藉助貯藏作業，調節產季短期間供應過多，造成市場價格大幅跌落之困境，運用貯藏功能增加產品時間效用，不僅可延長產品供應時程，讓採收期過多之困擾得到緩解，亦可提供非產季的產品，滿足消費者需求。通過冷鏈設備之貯存機制，有效調節供銷數量，有助降低食品市場價格大幅漲跌波動。

(四) 有助提高農民收入：冷鏈提升產品品質和儲架壽命，除可擴大市場准入外，通過最大限度地減少收穫後損耗，來減少損失，提升產品價值，對於增加農民的收入至關重要。冷鏈亦可通過連接不同市場，實現更大貿易的機會，從而帶供需雙方之利益，消費者可以獲得更廣泛多樣優質的產品；農民也

可以通過優化高價值產品的生產來增加收入，產消雙方兩蒙其利。

三、傳統冷鏈對環境的影響

隨著國家經濟發展，國民所得持續提高，都市化程度也不斷進展，人民對農產食品消費之偏好，不僅要求足量供應，更加關切品質和安全等食品屬性的滿足，對於農產食品冷鏈的需求乃益漸擴大。新冠肺炎疫情嚴峻期間，社交距離管制，甚至城市、邊境封鎖措施，造成農產食品供應鏈順暢運行的衝擊，更突顯出冷鏈體系之建置與韌性，在面臨緊急情境下能否應變的重要性。為將足量 and 安全的農產食品，適時地從生產地區運送到目標市場顧客手中，供應鏈途程的溫度管理極為關鍵。如果採用傳統技術開發食品冷鏈，而沒有納入環境友善理念，未來這種冷鏈系統，在作業和運營上可能會帶來高昂的環境成本負擔。

傳統的食品冷鏈是能源密集型的產業，它們通常使用的製冷劑具有高GWP，以及運輸車隊也使用化石燃料密集型之能源，進行供應鏈活動的溫度控制。製冷是一種密集消耗能源的過程，Mercier等人(2018)指出：製冷使用了全球發電量15%；而所用的製冷劑洩漏，約占製冷全球變暖效應的15%~20%。事實上，欲估計冷鏈對環境的確切影響是一項有其難

度的工作，因為冷鏈物流類型因地域而異，而且冷鏈在不同作業階段的能源消耗或排放數據亦不一致。James 等人（2010）指出在有限可用的數據條件下，食品冷鏈約占全球二氧化碳排放量的1%。另據估計英國之食品冷藏占該國溫室氣體排放總量2%~4%；Carbon Trust研究報告（2020）敘述，大量的溫室氣體排放是由移動製冷裝置的燃料消耗引起的，全世界估計有400萬輛食品運輸車輛，預計到2030年，這一數字將增加2.5%。

農產食品冷鏈不同階段之作業活動，產生的碳排放對環境的影響，主要包括：（一）採收後處理：收成物的清潔、整理、包裝和預冷等活動，根據食品種類和運營效率，製冷占設施用電量比重會有不同，而且能源負荷亦取決於商品和冷卻系統之需求，例如新鮮農產品、肉類和牛奶的預冷、冷藏／冷凍，或急速冷凍；而產品預冷範圍，尤其是水果和蔬菜，也取決於這些生鮮蔬果的銷售周期和區域範圍。由於不同國家的能源使用存在差異，全球農產品收穫後，冷卻用電產生的溫室氣體排放量，並沒有準確的估計；（二）運輸：根據冷藏車的類型和設定保持的溫度，使用石化燃料產生動力行駛，製冷裝置在使用時，估算大約消耗了卡車總燃料消耗量的8%。大多數的冷藏運輸載具都使用R134a等製冷劑，由於壓力、系統狀況和車齡之不同，這些製冷劑

會以不同的速率洩漏；（三）貯藏：冷藏／冷凍庫在冷鏈活動中扮演商品不同時期的調節重要功能，冷庫內貯存商品的種類、溫層需求、擺放方式、不同商品混合貯存、貯存的產品是否經過預冷，以及冷庫管理技能等因素，皆會影響冷庫的能效和效率，因此不同冷庫之能耗差異很大。Evans 等人（2015）估算冷庫能耗可以從20~120 kWh／立方公尺／年不等，一般而言，若是冷凍或混合商品貯存的冷庫，則其能耗值都會較高；（四）零售：超市能源使用的相關研究（Peters, 2018; Kolokotroni, 2019）顯示已開發國家超市的製冷占電力消耗1%~3%之間；而零售冷藏展示櫃的設計、布局和效率各不相同，製冷系統的能耗最高可達600 kWh／立方公尺／年，但具體數值取決於製冷系統類型。

氣候與清淨空氣聯盟（Climate and Clean Air Coalition, CCAC, 2015）指出HFC排放量以每年8%~15%的速度增長，它是增長最快的氣候污染物。包括美國、澳大利亞和印度等許多國家，都是冷庫容量較多的地域，冷卻系統中注入製冷劑，但其洩漏風險高，增長GWP升高。CCAC（2020）研究報告指出，目前製冷產業占全球HFC消費的GWP加權份額86%，到2050這些部門的直接排放量，可能達到90Gt CO₂e，其中商業製冷占23Gt CO₂e。

四、減少糧損和增加溫室氣體間的權衡

隨著各國經濟發展，人民生活更加富裕，食品配送系統和基礎設施也將隨著發生變化，導入傳統冷鏈產生溫室氣體排放，亦是難以避免的情勢。然而冷鏈的健全發展，可以改善食品供應鏈的溫度監管，若能協同全程階段的連結性，當可減少收穫後的糧食損耗，以及與糧食損耗相關的碳排放。儘管冷鏈活動作業與運營的碳排放量會增加，它們增加的程度將取決於所用能源的類型、使用效率，以及冷卻系統中使用的製冷劑。這是冷鏈發展的一個關鍵方面，如果建置和發展農產食品冷鏈系統，仍依循過去的軌跡，以傳統方式快速部署新冷鏈系統，即使考量來自減少食物損耗和浪費的效益，仍有可能會增加冷鏈的溫室氣體淨排放。

食品供應鏈是高度複雜且分散的產業，供應鏈階段之各環節通常是分割的，不同環節間的數據共享和協作，也缺乏有效整合。不同環節間沒有真正的相互聯結和整合，限制了供應鏈環節部門，共同努力優化整個食品供應鏈的機會。新冠肺炎嚴峻期間對食品冷鏈產生了重大影響，導致食品短缺，以及無法有效順利運送，生產者和零售商難以適時且足量，提供消費者所需農產食品，突顯出食品冷鏈的脆弱性，但也迫使供應鏈參與者體認到必須更緊密地合作，才能

為顧客供應他們需要的商品。供應鏈成員間更大的連通性和整合，是減少食物浪費與碳排放的機會，同時也因此創造出新商業模式，發展更具顯著優勢的數據化驅動型冷鏈系統。IIR (International Institute of Refrigeration, 2020) 指出，更加數位化的冷鏈系統，可能降低採購成本 20%，減少供應鏈流程成本 50%，增加收入 10%；也可以減少糧食損耗和浪費，以及碳排放。

供應鏈各階段作業之冷鏈活動，必須全程無縫地協同和整合，包括靜態的和移動的元素。傳統的干預改善方法主要是，通過零散的項目測試個別冷鏈技術，或分離式的獨立干預，例如分別針對冷藏／冷凍庫、超市展示櫃，和運輸載體製冷系統之改進。雖可達成優化子系統效益，但卻忽略了冷鏈不同階段要素間的相互依賴關係，以及它們與其他「在地」能源條件的關係，可能導致一個次優系統。事實上，若要朝向節能技術、環境友善和經濟優化之淨零碳排放冷鏈系統發展，需要政府、產業以及利害相關者共同努力，政府制定政策導引與提供財政支持、產業在具誘因的計畫驅動下積極投入，學研機構配合提供知識和技術支援，以及消費者行為之市場拉力等，多方協同促成，形塑一種有機的生態系統，才可能達成兼顧糧食安全、氣候友善和能源安全之多重目標。

五、淨零碳排冷鏈戰略

低碳排放的農產食品冷鏈系統，可以概述為「一個安全、受監控和整合的溫控供應鏈網絡，採用冷卻技術設計，使用環保製冷劑，並最大化有效利用低碳能源，俾能在對環境影響最小的情況下，提高食品品質和安全」，要發展淨零冷鏈需要一個由政策、法規、更廣泛的物流和能源系統，以及高效的生產者和消費者行為組成的生態系統，才能實現可持續的經濟、環境和社會目標。政策面：政府部門制定國家淨零碳排規劃，設定願景和目標，營造有利淨零冷鏈發展的總體環境；供應鏈階段的各環節參與者，其作業活動與管理，皆須採取淨零碳排措施，例如：使用可再生能源、採用低GWP天然製冷劑、重視作業活動之能源效率、存儲空間依需求靈活調整，數據驅動的溫度監控和優

化設施，使用電動運具，設計規劃蓄熱設備，以及採行新商業整合模式等等。此外，運用被動冷卻（即非機械措施）措施，如：消除對製冷的需求，包括絕緣、自然冷卻，以及去除不必要的物品冷藏，減少所需的冷藏量（冷藏空間），並盡量縮減冷鏈長度。

Evans 與 Peters (2021) 指出「實現淨零碳排的食品冷鏈戰略是複雜的，首先要對現有冷鏈系統進行基準測試，並確定評估範圍。然後，在整個冷鏈系統的價值鏈，包括使用、製造、儲存、移動和管理等階段之活動，不一定要按順序進行，應用減少、轉移、改進和整合等策略來達成目標」，如圖1所示。

發展淨零碳排農產食品冷鏈系統，首要工作是基準測試。然而要提供準確的基線（Baseline），作為量化冷鏈體系碳排放改善之進展依據，具

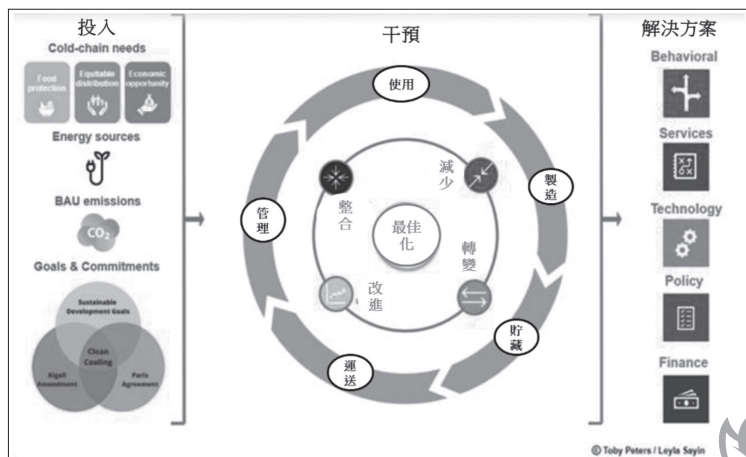


圖1. 淨零碳排的冷鏈策略架構。
資料來源：Evans 與 Peters (2021)。

有相當的挑戰性。事實上，目前臺灣正處於規劃與建置農產食品冷鏈系統發展之初期階段，不僅缺乏供應鏈全程冷鏈活動碳排放數據，也沒有實施冷鏈可以減少產品損耗和浪費相關估算之統計資料。誠宜在現階段啟始時期，就著手建構農產食品冷鏈體系的碳排放資料，確定評估範圍，有序地規劃本土化之農產食品冷鏈碳排放資料收集與估算方法，循序漸進累積建立資料庫，作為量化評核我國農產食品冷鏈體系碳排放改善之依據。我們必須努力控制冷鏈作業可以減少碳排放的改善活動，同時鼓勵和協助供應鏈參與者，共同實現淨零碳排放目標；也要重視和提供消費者相關的碳排放資訊。

檢視當前農產食品冷鏈計畫的重點，似乎集中著力於冷鏈設施和設備之投入，期能減少食物損耗，以及提升產品品質與安全；較少觸及冷鏈與碳排放之友善環境連結，也沒有納入消費者在冷鏈活動中最後一哩扮演的角色。務實地說，若消費者可獲得更多食品冷鏈相關信息，也許他們就可以更好地儲存食品，更智慧地消費，減少食物浪費，也可更清楚理解食品對環境的相關影響。

邁向淨零碳排放農產食品冷鏈目標之策略性干預手段包括：（一）減少：在確保供應鏈途中，食品品質能保持最佳條件，同時亦能減少冷卻需求。一般認為減少碳排放是一項技術問題，技術確實可發揮重要作用，

但減少碳排放也涉及行為、政策和商業驅動因素等，皆須同時納入考慮；（二）轉變：朝向更可持續的技術和作業流程發展，採取不同的冷卻方法，以及使用新型能源。要實現淨零碳排放，不僅需要往低 GWP 製冷劑和低能源技術努力，還需要加強冷鏈作業與電網之間的整合，更有效地使用能源；（三）改進：提升冷鏈設備和運營效率，新技術和設備可在脫碳中發揮作用，但要應用新技術、投資新設備，對冷藏／冷凍業者而言，設施／設備的更換投資成本大，相對較為不易，採取減少和轉移碳排放是較可能的選擇。然而，在運輸、零售、消費階段等食品冷鏈的參與者，只要經濟誘因足夠，使用新技術／設備來替代的機會就增加；（四）整合：識別和利用冷鏈內的協同作用，更好地將不同的冷卻需求，整合到一個系統中，並增強冷卻系統與加熱設施，以及其他可用能源組合的熱共生應用。要實現碳減排目標，需要的可能不僅僅是應用最好和最有效的技術，以及更好地與電網整合，尤其需要冷鏈參與者協同和整合作業活動，開發可持續、系統驅動的冷卻和冷鏈解決方案。

六、結語

建置農產食品冷鏈體系，有助於減少供應鏈途程的食品損耗與浪費，提升品質與安全，亦可增加農民生產

收益，以及擴大消費者購買多樣化優質農產食品的機會，是目前農政單位積極推動的農產品安全政策與品質改善措施。然而冷鏈活動是一種能源使用密集的作業，對環境有較大CO₂e排放不利之影響。如何建構可兼顧供應鏈途程的產品安全與品質維護，降低損耗與浪費，並能減輕氣候和環境影響，促進低碳發展之農產食品冷鏈體系，是一項極具挑戰性的任務。

國發會今（2022）年3月30日公布臺灣2050淨零碳排路徑圖，將以氫能、節能、碳捕捉、電力系統與儲能等12項關鍵戰略，達到淨零目標。我國能源部門從低碳邁向零碳分2階段，從現在到2030年以現有成熟技術落實減碳，2030～2050年則以

新技術漸進走向零碳；並宣示將打造零碳能源，以去碳電力為主軸，促使能源轉型。在政府積極推動淨零碳排的願景、目標與政策措施下，塑造了我國發展邁向淨零碳排食品冷鏈體系的有利總體環境，也是堅強的促進推力。若要落實淨零碳排食品冷鏈體系目標，應對現有冷鏈系統進行基準測試，作為碳排放改善之量化進展評核基礎。應用減少、轉移、改進和整合等策略手段，對整個冷鏈系統的價值鏈活動，進行有目的之改善作為，並就策略措施執行後，評估干預實施後碳排放改善情形，循序漸進地驅動食品冷鏈體系，持續朝向淨零碳排目標前進。

（參考文獻請逕洽作者）

