



生鮮蔬果國際貿易之運銷碳排框架特性概述

魯真¹、曾若定²

摘要

在聯合國 2050 淨零排放的目標下，生鮮蔬果國際貿易之溫室氣體排放受到高度關注。生鮮蔬果僅貢獻全球 1/5 之糧食里程，但運輸碳排占比卻超過 1/3。生鮮蔬果運銷階段活動複雜且牽涉因素龐大，不易以單一之碳排框架進行計算。藉由文獻回顧及資料彙整，驢列出 6 項增加生鮮蔬果碳排之活動與因素，其後並介紹三個個案，分別為基於產品生命週期評估並結合全球物流排放委員會提出規則與設立 18 項假設作為框架、考慮運銷過程產生之食物浪費下使用產品生命週期評估並結合國際生命週期數據系統指引進行計算、及使用環境擴展投入產出之計量經濟方法計算蔬果運銷階段之碳排。

現行全球最成熟之碳排計算框架為產品生命週期評估(LCA)，此外有透過計量經濟、財務行為等方法建立框架，然配套措施較少。期望未來供應商或政府於計算生鮮蔬果運銷階段碳排時可透過產品特性、運輸特性等作為選擇碳排框架之基準。減少生鮮蔬果於運銷階段之碳排最重要的為減少食物運輸里程，即能降低高占比之交通排碳量、冷藏所耗費能源及減少食物浪費。持續推廣食在地、食當季的概念才可有效從根源減少生鮮蔬果運銷階段所產生的高量碳排。

關鍵詞：生鮮蔬果(Fresh fruits and vegetables)、碳足跡(Carbon footprint)、配銷(Distribution)、食物浪費(Food waste)

¹ 國立中興大學行銷學系 教授

² 國立中興大學行銷學系



壹、前言

生鮮蔬果為重要國際貿易農產品之一。根據聯合國商品貿易庫³與美國農業部經濟研究服務(U.S. Department of Agriculture Economic Research Service)⁴資料顯示，2021 年全球生鮮蔬果總出口額為 124.2 億美元。生鮮蔬果之國際運銷雖可增加國家之競爭力，但較易受國際情勢影響而衍生出貿易風險。2020 年由於新冠肺炎席捲全球，世界各國多採取市場管制措施，大幅縮減農民的銷售管道，進而減少農民的收入。長途運輸所造成的溫室氣體排放對環境之衝擊也持續被挑戰。表 11-1 為 2012-2021 全球生鮮蔬果總出口額，可見近年全球生鮮蔬果貿易有下降的趨勢，且於 2020 受到疫情影響而有近 5%的減量。

表 11-1：2012-2021 全球生鮮蔬果總出口額

年份	總出口額(億美元)
2012	126.0
2013	132.2
2014	132.9
2015	127.4
2016	126.2
2017	127.9
2018	126.2
2019	123.7
2020	117.6
2021	124.2

資料來源：美國農業部經濟研究服務(2022)

溫室氣體(GHG)對於環境造成之負擔於近幾年持續受到重視(Gillenwater, 2008)。聯合國提出減碳及 2050 淨零排放的目標，導致消費者對產品相關溫室氣體排放的環保意識也越來越強，產品碳足跡已經成為政府、企業廣泛使用之碳足跡揭露手法(Goodarzi et al., 2019)。如何界定碳排的框架為一挑戰，現行最常見的方法為透過產品生命週期評估(Life cycle assessment, LCA)進行產品碳足跡之框架建立，產品生命週期可分為原料取得、製造、配送銷售(運送銷售)、消費者使用與廢棄階段，且不同產品細項會有所不同。我國環保署(2013)⁵提出碳足跡產品類別規則-蔬菜第一版(下圖 11-1)，並陸續更新，於 2020 年推出碳足跡產品類別

³ UN Comtrade Database. <https://comtrade.un.org/> (As of November 28, 2022)

⁴ U.S. Department of Agriculture Economic Research Service. <https://www.fas.usda.gov/commodities/fruits-and-vegetables> (As of November 28, 2022)

⁵ 環保署產品碳足跡資訊網。
<https://app.sist.org.cn/label/Upload/ProductFile/8bb42df91b5a44a596743677122063a8.pdf> (As of November 28, 2022)

規則-蔬菜第四版(下圖 11-2)作為產品碳足跡盤查之依據。

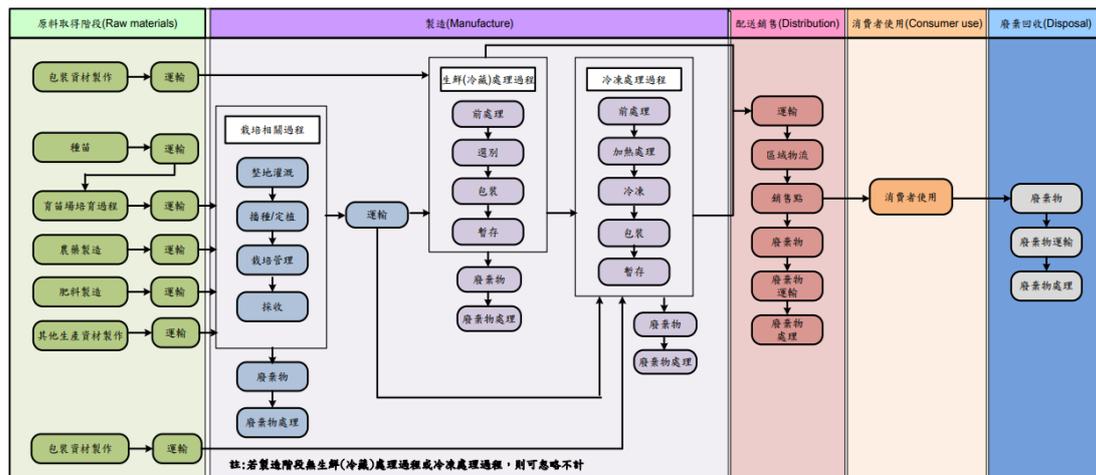


圖 11-1：碳足跡產品類別規則-蔬菜(第一版)

資料來源：環保署產品碳足跡資訊網(2013)

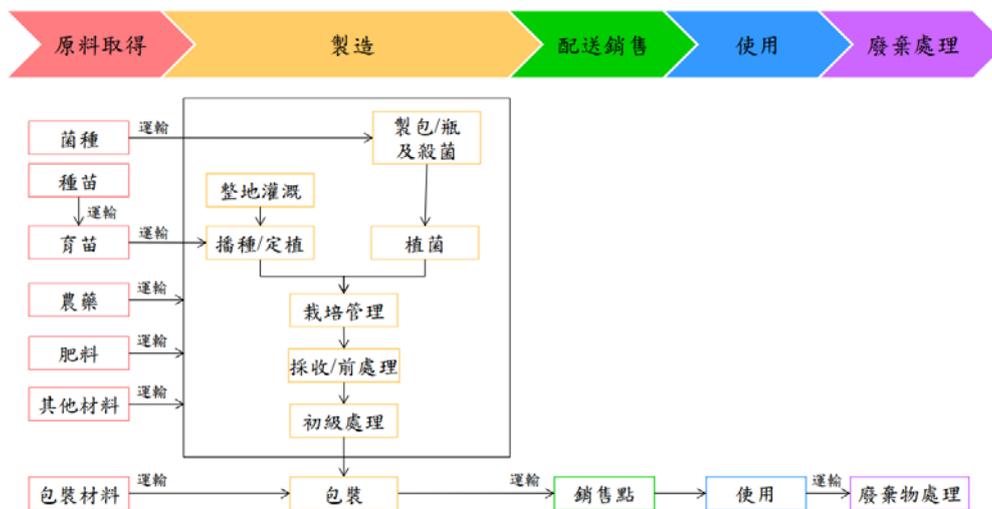


圖 11-2：碳足跡產品類別規則-蔬菜(第四版)6

資料來源：環保署產品碳足跡資訊網(2020)

於蔬果之碳足跡產品生命週期中，運銷階段之碳排(Distribution Stage)常於研究中被忽略(Rana et al., 2019; van der Werf et al., 2014)。根據研究文獻中數據呈現結果，生鮮蔬果雖只貢獻全球 1/5 之糧食里程，但在運輸碳排放量占比超過 1/3(Li et al., 2022)，幾乎為蔬菜產品生產階段所排放的 2 倍之多。主要原因包括：1.冷鏈運送 2.生鮮蔬果含水量 3.非當季需求，分別解釋如下。

⁶ 環保署產品碳足跡資訊網。 <https://cfp-calculate.tw/cfpc/Carbon/WebPage/FLPCRDoneList.aspx> (As of November 28, 2022)



1. 冷鏈運送：生鮮蔬果為確保其鮮度，必須於運輸過程中透過低溫運輸以保持品質，每公斤的生鮮蔬果於冷鏈運輸所造成之碳排約為 0.2–0.66 kgCO₂e/tkm，因此在較高環境溫度下運輸之產品，成為生鮮蔬果運銷階段碳排的大宗。
2. 生鮮蔬果含水量：由於大部分新鮮蔬果含水量高達 85%-96%，且只有在水份充足時才富有光澤與彈性，否則將失去其經濟價值，但這也造成運送時由於含水量高，造成運輸重量增加，此外蔬果形狀多為不規則且不能受到擠壓，因此運輸時比起其他商品，需要一定的空間進行放置，造成可利用空間下降，進而增加單位產品之運銷碳排。
3. 非當季需求：由於國際貿易興起，使消費者逐漸對非當季與該地區無生產之生鮮蔬果產生需求，雖促進農產品之國際貿易、降低生產成本，但動輒跨南北半球之海運、空運也造成巨量的碳排。

從上述現象可見對於生鮮蔬果國際貿易而言，運銷階段之碳排計算應該被持續關注。文獻中已有不同的生鮮蔬果運銷之碳排框架，以下簡介生鮮蔬果國際貿易之運銷碳排框架特性，並探討生鮮蔬果運銷碳排熱點分布，最後針對我國生鮮蔬果運銷之碳排框架與運銷階段之減量排碳策略提出建議。

貳、生鮮蔬果運銷之特性與碳排概況

產品生命週期中運銷階段定義為產品經加工及包裝完成後，到消費階段前均涵蓋於運銷階段。生鮮蔬果之運銷階段可分為運輸、處理、儲藏與相關管理措施。生鮮蔬果的運銷階段不同於其他商品，具有許多增加碳排的活動及因素。du Plessis et al. (2022)提出共 6 項增加碳排之活動與因素，供未來建立生鮮蔬果運銷之碳排框架參考：1.產品特性 2.廣泛的冷鏈要求 3.市場因素 4.物流因素 5.食物浪費 6.暖化所造成能源需求。

1. 產品特性：由於生鮮蔬果經截切後，組織遭到嚴重破壞，易受到微生物侵害⁷，且無法透過熱處理等方式進行殺菌。運銷時需謹慎處理，須避免因為碰撞造成之損害，現行較常見的作法為運銷時為生鮮蔬果套上商品保護泡棉，運輸之箱籃等載具也須進行消毒，以避免蔬果因為微生物的污染引起腐敗，甚至會使用防腐劑、保鮮劑等方式使生鮮蔬果可於長期運輸之下保持鮮度。上述之增設配備、添加藥劑等均使生鮮蔬果於運銷過程中產生之碳排有所提升，甚至對環境造成其他污染。

⁷ 行政院農業委員會全球資訊網(2008)。 <https://www.coa.gov.tw/ws.php?id=22085&print=Y> (As of November 28, 2022)



2. 廣泛的冷鏈要求：每種蔬果均有其適合的最佳溫度，且有可能需要最佳的大氣條件，因此運銷過程中為避免蔬果腐壞，不但要透過空調系統降低溫度，更可能需要透過調節空氣中的氧氣、氮氣、臭氧、二氧化碳、乙烯和水蒸氣的濃度，然製冷活動形成全球溫室效應 15%-20%之占比 (Wu et al., 2022)。此外，特定生鮮蔬果需要調節空氣濃度之空調設備所需能源耗損，冷鏈要求造成的碳排不容小覷。
3. 市場因素：生鮮蔬果易受到供需波動的影響，鮮度保存不易，其影響包含氣候變遷、病蟲害、勞動力短缺及市場機制等。在運銷過程中冷藏、儲存與運輸均構成風險，一旦風險發生便會造成全球蔬果市場價格波動，然農產品相對來說恢復較慢(Goedhals-Gerber et al., 2017)。為確保生鮮蔬果價格穩定，有時會透過冷凍、冷藏儲藏等方式將生鮮蔬果停滯於運銷階段，此活動也造成碳排放。
4. 物流因素：生鮮蔬果之運銷存在許多物流因素，使其有別於其他產品之運銷物流，這些因素也直接或間接影響碳排，以下將列點進行說明：(1.) 生鮮蔬果收成後壽命短，因此會壓縮物流時間與供應鏈長度，並確保零售與消費者使用之時間；(2.) 生鮮蔬果物流嚴格要求衛生，因此在冷殺菌及檢疫過程中，不但增加供應鏈的複雜性更增加其中流程的碳排；(3.) 生鮮蔬果生產及加工包裝設施常位於偏遠之郊區，造成運輸距離長，且常因為貨物流量不平衡造成無法滿載運輸，徒增成本與碳排；及(4.) 生鮮蔬果進行海運、空運時須使用冷藏集裝箱，然也常會有空箱情形產生，造成浪費。
5. 食物浪費：所有食品、農產品均會於生命週期各階段產生損壞而廢棄，生鮮蔬菜為食品類型商品中食物浪費最高的一種，根據 Rockefeller Foundation (2022)⁸資料顯示，每年有 46%生鮮蔬果被浪費，相當於 9.75 億噸，且有約 7%發生在運銷階段，其原因包含蔬果腐壞與賣相不佳。聯合國第 74 屆會議決議⁹也因此將生鮮蔬果於供應鏈中產生的浪費訂為關注之關鍵領域之一，在進行產品碳足跡計算時，廢棄之生鮮蔬果所造成的碳排仍需轉嫁到最終端賣出之蔬果上，也因此使生鮮蔬果的產品碳排居高不下。根據聯合國環境署(UN Environment Programme, UNEP) 之糧食浪費指數報告¹⁰指出，生鮮蔬果食物浪費至少增加 10%之碳排。
6. 暖化所造成能源需求：生鮮蔬果於運銷需要冷藏，因此供應鏈需要大量

⁸ Waste and Spoilage in the Food Chain. Rockefeller Foundation (2013).

<https://www.rockefellerfoundation.org/wp-content/uploads/Waste-and-Spoilage-in-the-Food-Chain.pdf> (As of November 28, 2022)

⁹ 聯合國第 74 屆會議決議(2019)。 <https://undocs.org/A/RES/74/244> (As of November 28, 2022)

¹⁰ UNEP Food Waste Index Report 2021. <https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021>. (As of November 28, 2022)

的能源，此外需恆定氣流以確保維持於極小差距的溫度之下。隨著全球暖化，達到恆定的低溫需要耗費更多的能源，且開啟冷藏門次數、生鮮蔬果種類等因素也會影響到能源需求。

由上述生鮮蔬果運銷特點可看出生鮮蔬果運銷為碳密集型的，且產出碳排量可以說超乎想像。一批從澳洲運往歐洲的遠距離運送蘋果，去除港口及倉庫裝卸所排放之溫室氣體後，每顆蘋果所產生之碳排為 950g CO₂/kg，相當於一顆蘋果本身的重量(Rizet et al., 2012)。一批從南非運往瑞士的酪梨，僅是運銷階段所產生的每顆酪梨碳排為 504-782 g CO₂/kg。由此可見生鮮蔬果運銷階段占比之碳排偏高之外，受到影響因素複雜的特性，不易精確計算碳排。以下介紹三個生鮮蔬果運銷碳排放之個案，從而提出幾項生鮮蔬果配銷之碳排框架及其特性。

參、生鮮蔬果運銷之特性與碳排概況

為說明生鮮蔬果運銷之碳排分布，將以 27.4 公噸新鮮酪梨從南非出口往瑞士日內瓦之一間公司¹¹作為個案。計算之起點為酪梨於南非包裝工廠出場開始，到運達瑞士日內瓦之零售商為止，且於整個運銷階段中定溫為攝氏 4.4-8 度。其中經過裝貨、陸運、卸貨、儲藏並於港口裝卸貨、儲藏及海運、配銷等 19 個過程後才運至零售商，其詳細之流程圖如下圖 11-3 所示。

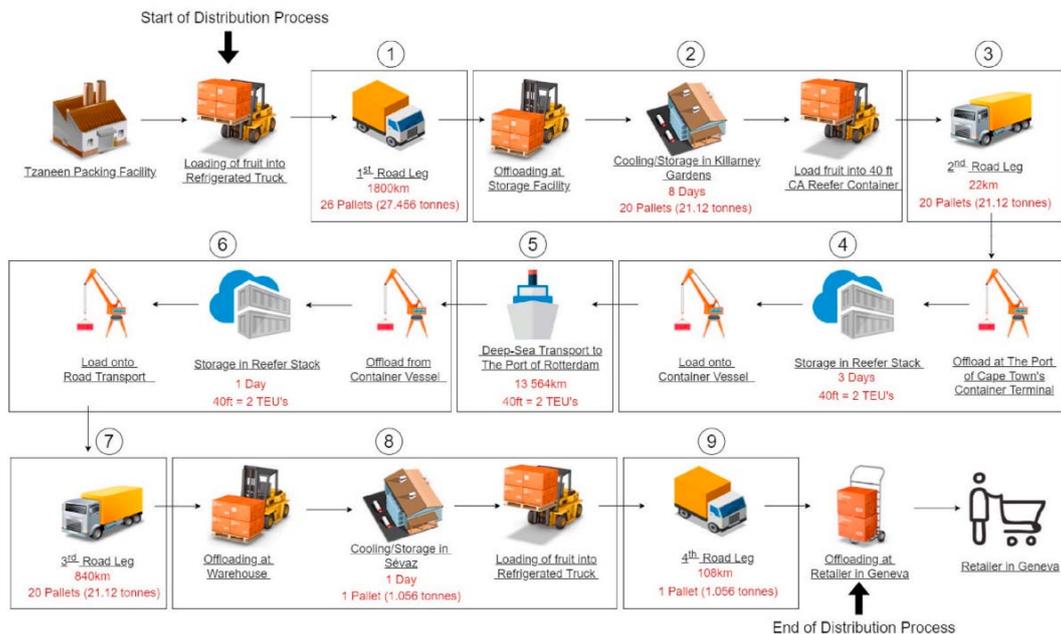


圖 11-3：個案生鮮蔬果運銷詳細流程-酪梨

資料來源：改編自 du Plessis et al., (2022); Van Dyk & Maspero (2004)

¹¹ van der Westuizen, M., 2021. Personal communication. Validation of example avocado distribution chain (As of November 28, 2022)

此個案為確保可比較不同運輸方式的溫室氣體(GHG)，採用基於產品生命週期評估(LCA)並結合全球物流排放委員會(Global Logistics Emissions Council, GLEC)提出規則作為框架。GLEC 是全球公認的統一計算供應鏈物流碳足跡的方法，然其規則卻與現實生活中生鮮蔬果運銷現況相去甚遠。此外，GLEC 規則幾乎沒有提供關於問題量化背後的假設和邏輯，因此此個案在滿足產品碳足跡須包含至少 95%以上碳排情況下，設立多達 18 個假設，包含了運輸、冷藏及碳排放強度相關因素，作為其碳排框架的限制，以下將列舉其中 11 項較常用之假設，做為日後建立生鮮蔬果運銷碳排框架時討論。

1. 物流相關假設：

- (1) 陸運部分僅計算載貨去程碳排，不考慮逆向物流及空車回送等狀況。
- (2) 冷藏箱於回程時載運其他貨物，因此不列為空箱回送之碳排考量。
- (3) 道路運輸車輛乘載率 60%，空車率 17%。
- (4) 海運及陸運全程直達。

2. 冷藏相關假設：

- (1) 運銷過程中無水果變質，因此不會發生廢棄生鮮蔬果所造成的碳排放轉嫁到最終端賣出之蔬果上之問題。
- (2) 於運銷過程中採用最佳化溫度及其他條件計算冷藏設備之碳排。

3. 排放強度因子：

- (1) 生鮮蔬果於儲藏設施(如：倉庫、海港等)所停留的時間可忽略。
- (2) 不論設定溫度高低，冷藏設備均耗能相同。
- (3) 不考慮冷殺菌所產生之耗能。
- (4) 假設於每個國家陸運車輛均使用 5%生物柴油混合燃料。
- (5) 於生產國及消費國均使用消費國之燃料排放係數(如：電力、汽油及柴油)。
- (6) 僅考慮運銷活動階段碳排，不考慮相關基礎設施、製造之碳排。

透過此碳排框架計算出每顆酪梨於運銷階段所產生之碳排放為 504-782 g CO₂/kg，約有 50%來自海運及其中冷藏設備等排放，45%來自陸運相關排放，剩下 5%來自於儲存、裝卸貨等活動。

第二個個案為一批從智利運往英國的蘋果(Iriarte et al., 2021)，運銷階段起算點同樣為包裝工廠出廠開始計算，停止於零售商。此個案運用碳排放的框架及方法為依循 ISO 14067:2018 產品碳足跡¹²，並使用國際生命週期數據系統之指引 (Institute for Environment and Sustainability, ILCD)¹³ 及產品生命週期評估(LCA)

¹² 14067: 2018 Greenhouse gases—Carbon footprint of products—Requirements and guidelines for quantification, 2018. <https://www.iso.org/standard/71206.html> (As of November 28, 2022)

¹³ European Commission-Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, 2011. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook. <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE->

進行計算。此個案將運銷階段分為幾個部分，分別為：(1.)冷藏儲藏廠；(2.)儲藏室到智利港口之陸運；(3.)智利港口；(4.)海運；(5.)英國港口；(6.)英國港口至配送中心之陸運；(7.)配送中心；(8.)配送中心到零售商之陸運；(9.)零售商。此外此個案有考慮實務上於各階段均會發生生鮮蔬果的淘汰，而產生的食物浪費問題，如下圖 11-4 所示。

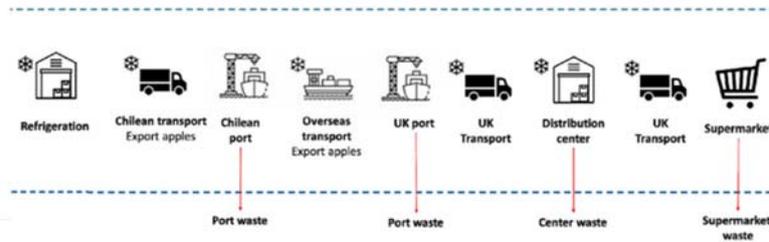


圖 11-4：個案生鮮蔬果運銷詳細流程-蘋果

資料來源：Iriarte et al. (2021)

該個案結論為透過 ILCD 框架所計算 1 公斤的蘋果從智利運送至英國之運銷階段產生的碳排放為 379 g CO₂/kg，其中有 55% 排放均來自海運，15% 來自陸運，其他也有 9% 來自於冷藏儲藏廠。

第三個個案探討一批從西班牙運往英國之油桃的碳排放(Núñez-Cárdenas et al., 2022)，此個案探討兩種碳足跡排放框架對於油桃碳排之影響。第一種為基於過程的產品生命週期評估(pLCA)，為現在全球採用最廣泛且成熟的方法，採用 Bottom-up 的方式透過匯總成各階段進行量化；第二種為環境擴展投入產出分析(Environmentally extended input-output analysis, EEIOA)，採用 Top-down 的方式評估經濟活動與環境影響之間的關係(Leontief, 2018)。運銷階段分為使用柴油與冷藏的 800 公里卡車陸運、冷藏室儲放三週即最後的 30 公里卡車陸運。結果顯示透過 pLCA 方法計算每公斤油桃於運銷過程中碳排放為 318 g CO₂/kg，占總碳排 42.1%，使用 EEIOA 方法計算每公斤油桃於運銷過程中碳排放為 460 g CO₂/kg，占總碳排 42.9%。於 pLCA 運銷階段陸運占 64.3%，冷藏設備使用電力占 35.7%，於 EEIOA 運銷階段陸運占 51.8%，冷藏設備使用電力占 48.2%。

上述個案均存在不同之假設，或使用不同方法計算生鮮蔬果碳排放，然得出結果均為運銷階段占比約為 40-50%，且其中海運與陸運又是運銷階段的碳排放熱點。在上述個案中採用方法大多以產品生命週期評估作為基準，結合如 GLEC、ISO 14067:2018 等基準作為碳排放計算之框架，並針對不同種類生鮮蔬果、不同運輸及儲存情況設定假說，以求取計算難易度與實務情況之平衡點。使用現在全球最成熟的產品生命週期評估(LCA)，現有透過計量經濟、財務行為等方法進行生鮮蔬果碳排框架之建立，然相對配套措施較產品生命週期評估少，期望未來我



國生鮮蔬果供應商或政府於計算運銷階段碳排放時可透過產品特性、運輸特性等作為選擇碳排框架之基準。為能減少運銷過程中食物浪費所造成之碳排放，建議於框架建立時需一併納入各活動產生之食物浪費，以揭露真正的生鮮蔬果商品碳足跡，也確保可監督達成聯合國可永續發展監管機構提出之於西元 2030 年前將食物浪費減半的目標。

肆、 結論

透過蒐集我國環保署碳足跡產品類別規則及國外文獻，發現生鮮蔬果商品在原料取得、製造、運送銷售、消費者使用與廢棄階段中，以運送銷售階段所產生之碳排量最大，其中原因包含冷鏈運送、生鮮蔬果含水量及非當季需求所導致。進一步整理多篇文獻後發現生鮮蔬果運銷所產生碳排放居高不下的原因有六種，分別為：(1.)產品特性；(2.)廣泛的冷鏈要求；(3.)市場因素；(4.)物流因素；(5.)食物浪費；及(6.)暖化所造成能源需求。

隨後透過介紹三個生鮮蔬果國際貿易運銷碳排框架之個案，以瞭解如何以產品生命週期評估(LCA)作為碳排放計算框架，並針對不同種類商品、情境進行假設。如個案 1 設立多達 18 個假設，包含了運輸、冷藏及碳排放強度相關因素，作為其碳排框架的限制。個案二則使用基於 LCA，由國際參考生命週期數據系統(ILCD)所提出的手冊作為碳排放計算框架，並加入於生鮮蔬果運銷階段之食物浪費因素，更能正確揭露食物浪費所產生之碳排放。個案三則採用現行較少使用之計量經濟方法作為計算框架，雖依然可求得 95%以上的碳排放，但配套措施較產品生命週期評估方法少。

探討個案及文獻介紹不同之生鮮蔬果運銷之碳排框架，做為未來政策建立時之參考，然計算蔬果產品碳足跡根本原因為期望達到減碳的效果。減少生鮮蔬果於運銷階段之碳排最重要的為減少食物運輸里程，即能降低高佔比之交通排碳量、冷藏所耗費能源及減少食物浪費，如聯合國永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDGs)¹⁴ 17 項發展目標的第 2 項：確保糧食安全，消除飢餓，促進永續農業，透過持續推廣食在地、食當季的概念才可有效從根源減少生鮮蔬果運銷階段所產生的高碳排放，也可促進我國國民健康永續的飲食。

¹⁴ THE 17 GOALS - Sustainable Development Goals. <https://sdgs.un.org/goals> (As of November 28, 2022)



伍、參考資料

- du Plessis, M., van Eeden, J., & Goedhals-Gerber, L. (2022). Carbon mapping frameworks for the distribution of fresh fruit: A systematic review. *Global Food Security, 32*, 100607.
- Gillenwater, M. (2008). Redefining RECs—Part 1: untangling attributes and offsets. *Energy Policy, 36*(6), 2109-2119.
- Goedhals-Gerber, L. L., Stander, C., & Van Dyk, F. (2017). Maintaining cold chain integrity: Temperature breaks within fruit reefer containers in the Cape Town Container Terminal. *Southern African Business Review, 21*(1), 362-384.
- Goodarzi, S., Fahimnia, B., & Sarkis, J. (2019). Supply Chain Carbon Management.
- Iriarte, A., Yáñez, P., Villalobos, P., Huenchuleo, C., & Rebolledo-Leiva, R. (2021). Carbon footprint of southern hemisphere fruit exported to Europe: The case of Chilean apple to the UK. *Journal of Cleaner Production, 293*, 126118.
- Leontief, W. (2018). Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach. In *Green Accounting* (pp. 385-394). Routledge.
- Li, M., Jia, N., Lenzen, M., Malik, A., Wei, L., Jin, Y., & Raubenheimer, D. (2022). Global food-miles account for nearly 20% of total food-systems emissions. *Nature Food, 3*(6), 445-453.
- Núñez-Cárdenas, P., San Miguel, G., Bánales, B., Álvarez, S., Diezma, B., & Correa, E. C. (2022). The carbon footprint of stone fruit production: Comparing life cycle assessment process-based and environmentally extended input-output analysis. *Journal of Cleaner Production, 135130*.
- Rana, R., Andriano, A., Giungato, P., & Tricase, C. (2019). Carbon footprint of processed sweet cherries (*Prunus avium* L.): From nursery to market. *Journal of Cleaner Production, 227*, 900-910.
- Rizet, C., Browne, M., Cornelis, E., & Leonardi, J. (2012). Assessing carbon footprint and energy efficiency in competing supply chains: review—case studies and benchmarking. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 17*(4), 293-300.
- van der Werf, H. M., Garnett, T., Corson, M. S., Hayashi, K., Huisingh, D., & Cederberg, C. (2014). Towards eco-efficient agriculture and food systems: theory, praxis and future challenges. In (Vol. 73, pp. 1-9): Elsevier.
- Van Dyk, F., & Maspero, E. (2004). An analysis of the South African fruit logistics infrastructure. *ORiON, 20*(1), 55-72.
- Wu, J., Liu, G., Marson, A., Fedele, A., Scipioni, A., & Manzardo, A. (2022). Mitigating environmental burden of the refrigerated transportation sector: Carbon footprint comparisons of commonly used refrigeration systems and alternative cold



storage systems. *Journal of Cleaner Production*, 372, 133514.