

# 有機柑橘產品碳足跡之研究

史晴、盧美君 \*

農業部苗栗區農業改良場

## 摘要

為促進我國農產品碳排放資訊揭露、產品減碳與綠色消費，本研究以位於苗栗縣西湖鄉某家有機農場生產之 4 種規格柑橘類產品，作為碳足跡盤查標的，包含：1 kg 塑膠袋包裝桶柑、3 kg 紙箱包裝桶柑、6 kg 紙箱包裝桶柑及 1 kg 散裝茂谷柑，以 ISO 14067：2018 國際標準與我國生鮮水果碳足跡產品類別規則 (Carbon Footprint Product Category Rule, CFP-PCR) (文件編號：22-061) 進行生命週期評估 (Life Cycle Assessment, LCA) 與碳足跡計算。結果顯示，1 kg 塑膠袋包裝桶柑、3 kg 紙箱包裝桶柑、6 kg 紙箱包裝桶柑及 1 kg 散裝茂谷柑之產品碳足跡分別為 0.767 kgCO<sub>2</sub>e/1 kg、2.589 kgCO<sub>2</sub>e/3 kg、5.093 kgCO<sub>2</sub>e/6 kg 及 4.827 kgCO<sub>2</sub>e/1 kg。四者皆以「原料取得階段」為碳排放之主要階段，碳排放占比分別為 57.11%、65.23%、59.45% 及 65.96%；且其中「肥料」為碳排熱點之首 (碳排放占比分別為 52.94%、49.96%、47.85% 及 62.52%)，「用電」名列第二，第三則為「包裝」、「產品運輸」或「用油 (汽油與柴油)」。因此，建議業者可善用土壤檢測、合理化施肥、更換產品包裝等措施，以有效減碳。本研究建立全臺第一個柑橘碳足跡資訊，除作為本土碳排放係數供下游業者盤查所用，碳排熱點分析亦可提供業者後續進行產品減碳策略研擬之參考。

**關鍵詞：**產品碳足跡、有機栽培、柑橘、碳排熱點

\*通訊作者電子郵件位址：lumj@mdares.gov.tw

## 前言

自工業革命以來，因各國開始大量使用化石燃料，全球溫室氣體濃度迅速上升，導致全球暖化與氣候變遷愈趨嚴重 (IPCC, 2021; NOAA, 2024)。IPCC 發行之「全球暖化 1.5°C」特別報告顯示，人類活動所導致的全球暖化，已高出工業革命前水準約 1°C，若以目前的暖化速度持續增加，在 2030 ~2052 年間，地球可能升溫 1.5°C；為將暖化限制在 1.5°C 以下，須於 2050 年達到淨零排放 (IPCC, 2018)。臺灣於 2022 年公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略」，對能源、產業、生活等重要領域制定行動計畫，落實淨零轉型目標 (國家發展委員會等，2022)。我國農業部門 2022 年之溫室氣體排放量約為 6.168 百萬公噸二氧化碳當量 (MtCO<sub>2</sub>e)，占全國總排放量約 2.16% (環境部，2024)，雖占比不高，然農業生產受氣候變遷影響首當其衝，推動低碳農業可促進環境永續，亦能提升農業面對氣候衝擊之韌性，並降低耕作風險。

農業部將氣候變遷調適與淨零排放策略列入重點施政項目，宣示農業部門在 2040 年將完成淨零排放目標，並在「減量」、「增匯」、「循環」及「綠趨勢」四大主軸下具體提出相關策略與措施。其中，執行產品碳足跡盤查對於推動淨零綠生活扮演相當重要的角色。產品碳足跡的定義為「商品由原料取得、製造、配送銷售、使用及廢棄處理等生命週期各階段；或服務由原料取得、服務及廢棄處理等生命週期各階段產生之溫室氣體排放量，經換算為二氧化碳當量之總和」(環境部，2020)。透過計算農產品的產品碳足跡，可向消費者揭露產品碳排資訊，促進消費者在選購產品時，除了考量價格與產品特性外，也能夠思考產品對環境生態的衝擊，達成「綠色消費」的正向循環 (林等，2015)。柑橘為臺灣重要果樹產業，且為苗栗地區主要作物之一。義大利、西班牙、中國等前人研究已針對克里曼丁紅橘、檸檬、柳橙、橘子等柑橘類作物之碳足跡進行探討，並揭示肥料為主要的碳排放來源 (Pergola *et al.*, 2013; Nicoló *et al.*, 2015; Yan *et al.*, 2015; Falcone *et al.*, 2020)。鑑於過去臺灣農產品碳足跡研究以糧食作物 (如：米) 或特用作物 (如：茶) 為主，無柑橘類品項，故本研究以我國柑橘類為標的，輔導苗栗地區的栽培業者進行產品碳足跡盤查，藉由生命週期評估法 (LCA) 分析柑橘類的生產過程中，從原料投入、栽培管理、採後處理、運輸、使用，到最後的廢棄處理等階段之碳排放量，並分析碳排放

熱點 (hotspot)，以利後續評估減碳策略，有助於業者未來申請我國碳足跡標籤，達到擴充本土農產品碳排放數據庫、促進綠色消費、提升品牌形象，及推動環境永續發展等目標。

## 材料與方法

### 一、盤查標的之基本資訊

本研究經訪談苗栗縣有意願且具相當生產規模之業者，選定位於苗栗縣西湖鄉 1 家有機農場為碳足跡盤查輔導對象。該農場作物品種多元，種植桶柑、砂糖橘、茂谷柑、晶圓梨、文旦、西施柚、大白柚、晚崙西亞香丁、帝王柑、柳丁、香檸、四季檸檬等，並以自然健康與體驗生態為導向，設計一系列生態體驗活動。其營收方式以直接出貨給有機店家為主，自行販售為輔。考量該農場主要銷售產品並配合作物生長季節，碳足跡盤查之標的產品擇定 2 種柑橘類作物共 4 種包裝規格進行 (圖一)，分別為：3 kg 紙箱包裝桶柑、6 kg 紙箱包裝桶柑、1 kg 塑膠袋包裝桶柑，以及 1 kg 散裝茂谷柑。

### 二、系統邊界

本研究之時間邊界設定為該農場桶柑與茂谷柑產季：2022 年 3 月至 2023 年 2 月；盤查範圍為農場內栽培之 500 棵桶柑果樹與 100 棵茂谷柑果樹所生產之鮮果產品。產品生命週期邊界係依據我國生鮮水果碳足跡產品類別規則 (CFP-PCR) (環境部，2022) 之生鮮水果生命週期流程圖為基礎 (圖二)，藉由實地訪查並訪談業者資源利用方式，繪製該農場之柑橘類產品生命週期製程地圖，以「搖籃到墳墓」(cradle to grave) 共五大階段：原料取得階段、製造階段、配送銷售階段、使用階段、廢棄處理階段，呈現產品全生命週期之投入與產出。標的產品盤查期間無直接土地利用變更情形，故盤查過程不計此項目。

### 三、活動數據蒐集

活動數據之蒐集採實地訪查與訪談方式進行，數據品質採用 ISO 14067：2018 國際標準，考量時間涵蓋範圍、地理特性、準確性等面相並優先收集一級數據，資本財與人力成本不納入評估。本研究活動數據蒐集項目如下：

## 1. 原料取得階段

- (1) 柑橘生產所需原料（如：肥料、農藥、其他生產資材）相關之生命週期溫室氣體排放量。
- (2) 上述原料自供應商至生產農場運輸過程相關之生命週期溫室氣體排放量。
- (3) 包裝資材生產、運輸相關之生命週期溫室氣體排放量。
- (4) 柑橘生產過程（包括果園整備、栽培管理、採收）相關之生命週期溫室氣體排放量。
- (5) 上述流程所需燃料與電力消耗相關之生命週期溫室氣體排放量。
- (6) 上述流程所產生廢棄物清理相關之生命週期溫室氣體排放量（若為回收、有價資源或自然分解，不納入計算）。

## 2. 製造階段

- (1) 投入能資源之溫室氣體排放量。
- (2) 產出量或輸出量（如：出貨量）。
- (3) 與廢棄物、廢汙水相關之溫室氣體排放量（若為回收、有價資源或自然分解，不納入計算）。

## 3. 配送銷售階段

- (1) 製造場域運送到物流統倉或批發商之第一配送點運輸流程之溫室氣體排放量。
- (2) 產品運輸量。
- (3) 運輸距離。
- (4) 交通工具相關資料。

## 4. 使用階段

- (1) 柑橘食用所需消耗之能源相關溫室氣體排放量。

## 5. 廢棄處理階段

- (1) 使用柑橘產品後，廢包裝材及廚餘運送至處理地點，運輸相關之溫室氣體排放量。
- (2) 使用柑橘產品後，相關廢包裝材及廚餘在處理地點進行處理（如：焚化、掩埋、回收）之重量。
- (3) 在處理地點進行處理（如：焚化、掩埋、回收）相關之溫室氣體排放量。

#### 四、排放係數引用

依據我國推動產品碳足跡管理要點之「產品碳足跡數據量化與查證規範」(環境部, 2025), 排放係數引用來源為: 我國環境部產品碳足跡計算服務平台碳足跡資料庫公用碳排放係數、取得國內產品碳足跡標籤之產品、經第三方外部查證之產品、國際或國家公告之碳足跡生命週期排放係數, 及生命週期評估軟體資料庫或具有公信力之文獻。本研究之排放係數依據可靠性、完整性、時間相關性、地理相關性與技術相關性等原則進行選用, 碳排放係數資料來源包括我國環境部產品碳足跡資訊網、IPCC 2021 GWP 100a 公告係數, 以及瑞士生命週期資料庫 Ecoinvent 3.8。

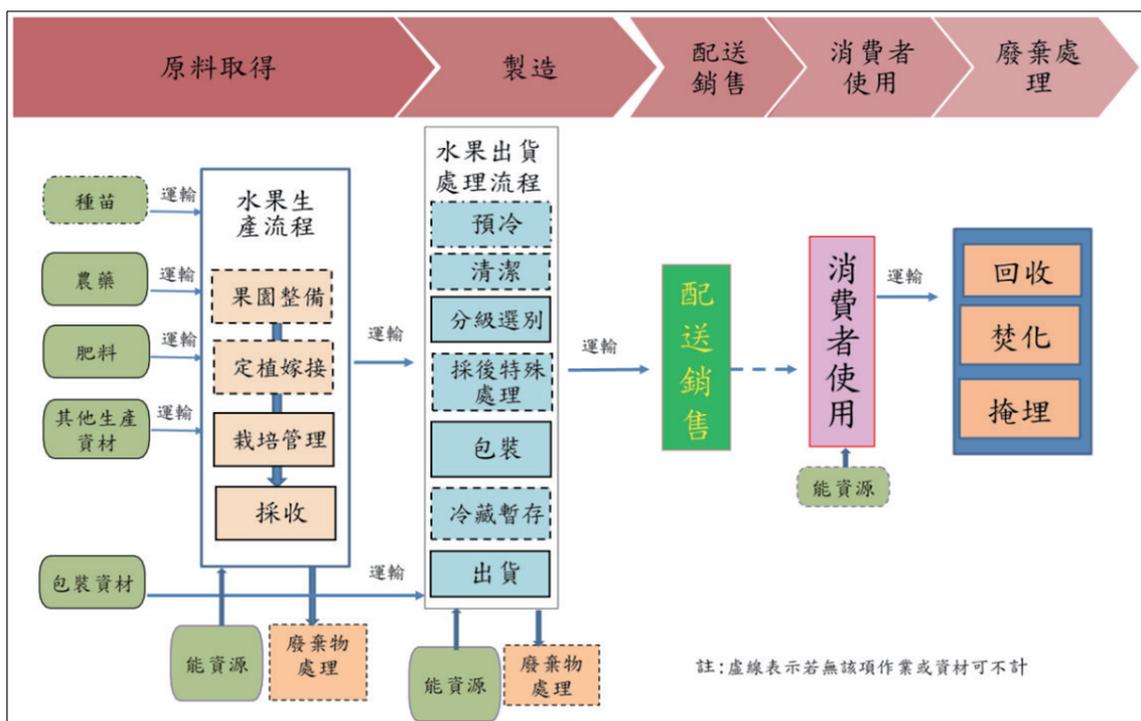
#### 五、產品碳足跡計算

1. 計算方式: 依據 ISO 14067:2018 國際標準, 碳排放量計算公式為碳排放量 (CO<sub>2</sub>e) = 活動數據 × 排放係數 × GWP 值。GWP 為溫室氣體暖化潛勢, 將溫室氣體, 如二氧化碳、甲烷、氧化亞氮、六氟化硫、氟氯碳化物、全氟化物、碳氫化合物及蒙特婁議定書管制物質造成全球暖化之能力透過係數轉換統一以二氧化碳當量 (carbon dioxide equivalent, CO<sub>2</sub>e) 表示。本研究採用 2021 年 IPCC 第六次評估報告之 GWP 進行計算。
2. 截斷原則: 依生鮮水果 CFP-PCR, 實質性百分比加總後小於 5% 之碳排放項目予以排除不計。
3. 分配原則: 標的產品之碳足跡活動數據採物理分配原則進行, 並以該農場果



圖一、本研究標的產品示意圖 (左: 1 kg 塑膠袋包裝桶柑, 中: 3 kg 與 6 kg 紙箱包裝桶柑, 右: 1 kg 散裝茂谷柑)

Fig.1. Citrus products in this research (left: 1 kg plastic bag packaged Tankan, middle: 3 kg and 6 kg carton box packaged Tankan, right: 1 kg Murcott)



圖二、生鮮水果生命週期流程圖 ( 引用自生鮮水果碳足跡產品類別規則第 1.0 版 )  
 Fig.2. Life cycle stages of fresh fruits (cited from CFP-PCR of fresh fruits v1.0).

表一、本研究輔導有機農場之柑橘類果樹種植棵數與出貨量

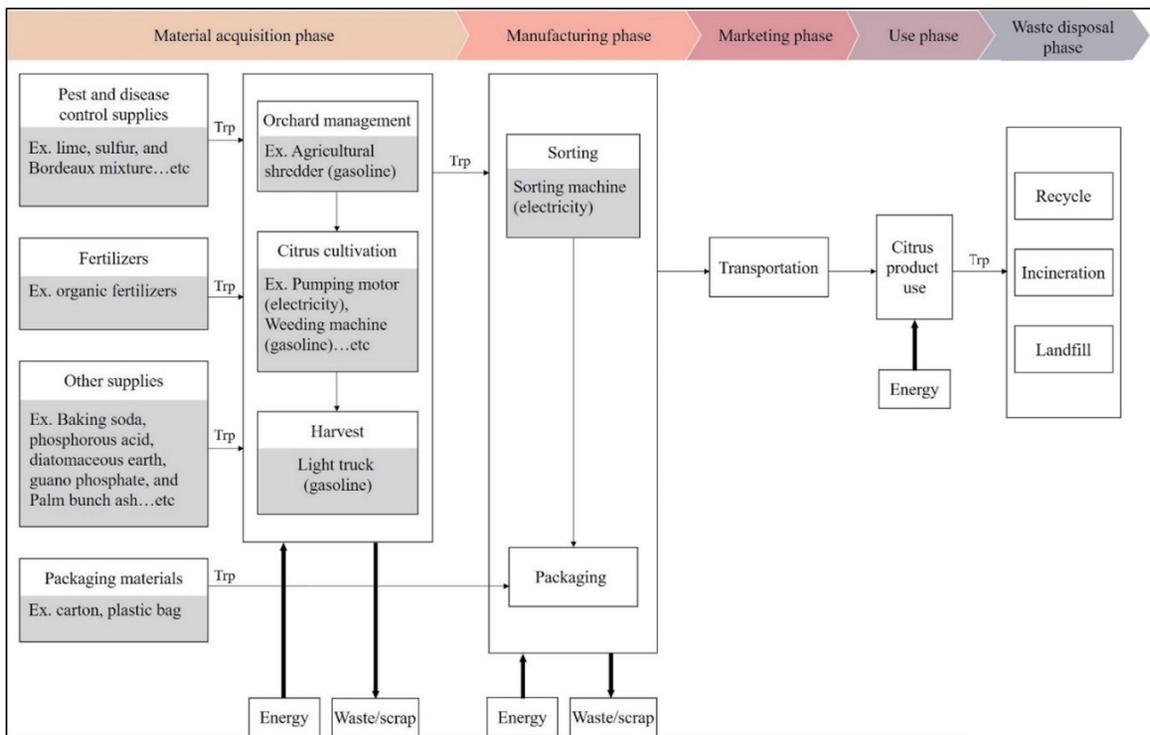
Table 1. Number of citrus fruit trees and shipping quantity of the organic farm in this research

Citrus species	Number of fruit trees		Shipping quantity (kg)	
Tankan ( 桶柑 )	500	(23.42%)	8,917	(28.40%)
Murcott ( 茂谷柑 )	100	(4.68%)	240	(0.80%)
Orange ( 柳丁 )	350	(16.39%)	14,210	(45.20%)
Wendan ( 文旦 )	300	(14.05%)	6,044	(19.20%)
Lemon ( 檸檬 )	100	(4.68%)	523	(1.70%)
<i>Citrus. spp</i> ( 西施柚 )	15	(0.70%)	1,320	(4.20%)
<i>Citrus. spp</i> ( 帝王柑 )	150	(7.03%)	75	(0.20%)
Valencia ( 香丁 )	300	(14.05%)	88	(0.30%)
<i>Citrus. spp</i> ( 砂糖橘 )	150	(7.03%)	-	-
Ponkan ( 椪柑 )	100	(4.68%)	-	-
<i>Citrus. spp</i> ( 香檬 )	70	(3.28%)	-	-

# 結果與討論

## 一、產品生命週期製程地圖之建立

本研究於該有機農場進行實地訪視並調查其資源利用方式，繪製桶柑與茂谷柑之產品生命週期製程地圖、訂定系統邊界(圖三)，包括：原料取得階段、製造階段、配送銷售階段、使用階段、廢棄處理階段共五階段。原料取得階段部分，包含於盤查期間內進行栽培管理所使用之病蟲害防治資材、肥料、其他資材、包裝資材，自購買地點運輸至農場後(柴油)，再利用搬運車運送至果園。果園整理所運用之農機具為碎枝機(汽油)，將樹枝破碎後直接鋪於園區；栽培管理過程則使用抽水馬達抽取山泉水以自動灌溉系統進行灌溉，並使用手持除草機(汽油)與乘坐式除草機(汽油)進行除草作業。桶柑與茂谷柑以人工方式採收，並以搬運車運送採收後之鮮果。產品生產過程所產生之廢棄物(如：肥料袋)，係由一般家庭垃圾車清運，其他資材瓶罐、廢棄紙箱等則透過一般資源回收車回收。



圖三、標的柑橘產品(桶柑與茂谷柑)之系統邊界

Fig.3. System boundary of citrus product (Tankan and Murcott)

製造階段部分，農場使用可重複利用之塑膠籃（無須列入計算）分裝鮮果，並藉由搬運車（汽油）運送至集貨包裝場，使用耗電型分級選別機進行產品選別，最後將桶柑與茂谷柑包裝後出貨。配送銷售階段部分，農場使用營業小貨車（汽油）配送產品，本研究依貨物重量以延噸公里為單位，計算配送過程中所消耗的能資源。使用階段部分，本研究假設之消費者使用情境為不冷藏保存、不清洗，剝皮後直接食用，因此本階段無能資源投入。廢棄物處理階段部分，係依據果皮及包裝材料分類進行回收、焚化及掩埋。紙箱與塑膠袋以回收方式處理，其餘柑橘皮則以一般廚餘廢棄物處理進行掩埋或焚化。

## 二、活動數據蒐集、排放係數選用及碳足跡計算

本研究以 2022 年 3 月至 2023 年 2 月為時間邊界，根據桶柑與茂谷柑之生命週期製程地圖（圖二）進行數據蒐集，共計蒐集 248 筆活動數據資料。排放係數引用我國環境部產品碳足跡計算服務平台 - 碳足跡資料庫公用碳排放係數（本土係數）為優先，無法選用本土係數之項目則採用瑞士生命週期資料庫 Ecoinvent 3.8 之國際碳排放係數。因肥料與防治資材尚無可選用之碳排放係數，故拆解其組成分，並依組成百分比，選用各組成分之碳排放係數進行加權計算，以估算肥料與防治資材的總碳排放係數，本研究使用之排放係數詳如表二。

產品碳足跡計算方式為全生命週期之活動數據乘以排放係數再加總而得（表三）。桶柑與茂谷柑之碳足跡計算結果如表四所示。1 kg 塑膠袋包裝桶柑之產品碳足跡為 0.767 kgCO<sub>2</sub>e/1 kg，產品生命週期各階段（原料取得階段、製造階段、配送銷售階段、使用階段、廢棄處理階段）之碳排放占比分別為 57.11%、27.54%、12.79%、0%、2.56%；3 kg 紙箱包裝桶柑之產品碳足跡為 2.589 kgCO<sub>2</sub>e/3 kg，產品生命週期各階段之碳排放占比分別為 65.23%、24.48%、8.31%、0%、1.98%；6 kg 紙箱包裝桶柑之產品碳足跡為 5.093 kgCO<sub>2</sub>e/6 kg，產品生命週期各階段之碳排放占比分別為 59.45%、24.88%、13.58%、0%、2.08%；1 kg 散裝茂谷柑之產品碳足跡為 4.827 kgCO<sub>2</sub>e/1 kg，產品生命週期各階段之碳排放占比分別為 65.96%、32.51%、1.27%、0%、0.26%。4 種產品之碳排放占比皆以「原料取得階段」為首，分別占全體的 57.11%、65.23%、59.45% 及 65.96%，「製造階段」次之，後續則為「配送銷售階段」以及「廢棄處理階段」。「使用階段」因假設消費者使用情境為產品不冷

藏保存、不清洗，剝皮後直接食用，故無能資源投入與碳足跡產生。1 kg 散裝茂谷柑碳足跡 (4.827 kgCO<sub>2</sub>e/1 kg) 較 1 kg 塑膠袋包裝桶柑碳足跡 (0.767 kgCO<sub>2</sub>e/1 kg) 高約 6 倍，主要原因與分配原則及出貨量有關：活動數據首先依農場果樹種植棵數分配於不同品項之柑橘類，後續再依出貨量進行宣告單位 (如：1 kg、3 kg、6 kg) 分配，由於農場該年度茂谷柑出貨量較低 (僅 240 kg，桶柑出貨量則為 8,917 kg)，導致母數偏小，進而造成分配後每公斤茂谷柑之碳足跡較高。

表二、本研究使用之排放係數

Table 2. Emission factors applied in this research

Name	value	unit	Source
Sulfur (硫磺)	0.1300	kgCO <sub>2</sub> e/kg	Ecoinvent 3.8/Sulfur
Sodium bicarbonate (碳酸氫鈉)	2.1300	kgCO <sub>2</sub> e/kg	Carbon Footprint Information Platform, EPA, Taiwan
Diatomaceous earth (矽藻土)	1.0200	kgCO <sub>2</sub> e/kg	Carbon Footprint Information Platform, EPA, Taiwan
Calcium superphosphate (過磷酸鈣)	0.8470	kgCO <sub>2</sub> e/kg	Carbon Footprint Information Platform, EPA, Taiwan
Palm bunch ash (棕櫚灰)	0.1610	kgCO <sub>2</sub> e/kg	Ecoinvent 3.8/Organo-mineral potassium fertiliser, as K <sub>2</sub> O
Mineral oil (龍燈 - 精鍊油)	9.6100	kgCO <sub>2</sub> e/kg	95% Ecoinvent 3.8/Aliphatic organothiophosphate insecticides 5% Ecoinvent 3.8/Emulsifier, proxy (based on AFP4.0: Soap stock (coconut oil refining), at plant/PH) Mass
Bordeaux mixture (龍燈 - 藍寶 - 波爾多)	1.7500	kgCO <sub>2</sub> e/kg	28% Ecoinvent 3.8/Dispensing agent (unspecific) production 20% Ecoinvent 3.8/Copper sulfate 52% Ecoinvent 3.8/Calcium hydroxide production
Organic fertilizer (益能一號有機質肥料)	0.2150	kgCO <sub>2</sub> e/kg	3.4% Ecoinvent 3.8/Organo-mineral nitrogen fertiliser, as N 2.4% Ecoinvent 3.8/Organo-mineral phosphorus fertiliser, as P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 1.5% Ecoinvent 3.8/Organo-mineral potassium fertiliser, as K <sub>2</sub> O 7.7% Ecoinvent 3.8/Horn meal 85% Ecoinvent 3.8/Green manure, Swiss integrated production until March
Organic fertilizer (綠林九號)	0.2150	kgCO <sub>2</sub> e/kg	4.3% Ecoinvent 3.8/Organo-mineral nitrogen fertiliser, as N 3% Ecoinvent 3.8/Organo-mineral phosphorus fertiliser, as P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 2% Ecoinvent 3.8/Organo-mineral potassium fertiliser, as K <sub>2</sub> O 10.7% Ecoinvent 3.8/Horn meal 80% Ecoinvent 3.8/Green manure, Swiss integrated production, until March

Organic fertilizer (十全有機肥)	0.1920	kgCO <sub>2</sub> e/kg	3.5% Ecoinvent 3.8/Organo-mineral nitrogen fertiliser, as N 3.0% Ecoinvent 3.8/Organo-mineral phosphorus fertiliser, as P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 2.3% Ecoinvent 3.8/Organo-mineral potassium fertiliser, as K <sub>2</sub> O 26.2% Ecoinvent 3.8/Horn meal 65% Ecoinvent 3.8/Green manure, Swiss integrated production, until March
Organic fertilizer (生技 12 號)	0.1950	kgCO <sub>2</sub> e/kg	3% Ecoinvent 3.8/Organo-mineral nitrogen fertiliser, as N 3% Ecoinvent 3.8/Organo-mineral phosphorus fertiliser, as P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 2% Ecoinvent 3.8/Organo-mineral potassium fertiliser, as K <sub>2</sub> O 22% Ecoinvent 3.8/Horn meal 70% Ecoinvent 3.8/Green manure, Swiss integrated production, until March
Organic fertilizer (43 號有機質複合肥料)	1.1300	kgCO <sub>2</sub> e/kg	45% Ecoinvent 3.8/NPK (15-15-15) fertiliser 3% Ecoinvent 3.8/Magnesium oxide 7.5% Ecoinvent 3.8/Citric acid 44.5% Ecoinvent 3.8/Horn meal 3% Ecoinvent 3.8/Green manure, Swiss integrated production, until March
Organic fertilizer (福壽有機肥)	0.2010	kgCO <sub>2</sub> e/kg	4% Ecoinvent 3.8/Organo-mineral nitrogen fertiliser, as N 2% Ecoinvent 3.8/Organo-mineral phosphorus fertiliser, as P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 6% Ecoinvent 3.8/Organo-mineral potassium fertiliser, as K <sub>2</sub> O 18% Ecoinvent 3.8/Horn meal 70% Ecoinvent 3.8/Green manure, Swiss integrated production, until March
Corrugated carton box (AB 楞紙箱)	1.3400	kgCO <sub>2</sub> e/kg	Carbon Footprint Information Platform, EPA, Taiwan
Polypropylene (聚丙烯)	2.0100	kgCO <sub>2</sub> e/kg	Carbon Footprint Information Platform, EPA, Taiwan
Electricity 〔電力碳足跡 (2020) 〕	0.5900	kgCO <sub>2</sub> e/kwh	Carbon Footprint Information Platform, EPA, Taiwan
Transportation by light truck (diesel fuel) 〔營業小貨車 (柴油) 〕	0.5870	kgCO <sub>2</sub> e/tkm	Carbon Footprint Information Platform, EPA, Taiwan
Transportation by heavy truck (diesel fuel) 〔營業大貨車 (柴油) 〕	0.1310	kgCO <sub>2</sub> e/tkm	Carbon Footprint Information Platform, EPA, Taiwan
Gasoline (車用汽油) (於移動源使用, 2020)	3.0100	kgCO <sub>2</sub> e/L	Carbon Footprint Information Platform, EPA, Taiwan

Garbage removal by truck (以柴油動力垃圾車清除運輸一般廢棄物)	1.3100	kgCO <sub>2</sub> e/tkm	Carbon Footprint Information Platform, EPA, Taiwan
Waste incineration (廢棄物焚化處理服務)	340.0000	kgCO <sub>2</sub> e/t	Carbon Footprint Information Platform, EPA, Taiwan
Organic waste treatment (有機廢棄物免發酵轉化肥料處理服務)	48.3000	kgCO <sub>2</sub> e/t	Carbon Footprint Information Platform, EPA, Taiwan

表三、標的柑橘產品之碳足跡計算 (以 3 kg 紙箱包裝桶柑為例)

Table 3. Carbon footprint calculation of citrus products (taking 3 kg carton box packaged Tankan for example)

Life cycle phases	Category	Name of activity data	Amount (per 3 kg)	Unit	Emission factor (/kgCO <sub>2</sub> e)	Carbon emission (kgCO <sub>2</sub> e/3 kg)
Material acquisition phase	Agricultural supplies	Sulfur (硫磺)	5.91E-03	kg	0.130	0.001
		Sodium bicarbonate (碳酸氫鈉)	1.58E-02	kg	2.130	0.034
		Diatomaceous earth (矽藻土)	3.67E-03	kg	1.020	0.004
		Calcium superphosphate (過磷酸鈣)	9.85E-03	kg	0.847	0.008
		Palm bunch ash (棕櫚灰)	8.86E-02	kg	0.161	0.014
		Mineral oil (龍燈 - 精煉油)	2.76E-03	kg	9.610	0.027
	Fertilizers	Bordeaux mixture (龍燈 - 藍寶 - 波爾)	7.88E-04	kg	1.750	0.001
		Organic fertilizer (益能一號有機質肥料)	3.39E+00	kg	0.215	0.728
		Organic fertilizer (綠林九號)	1.19E+00	kg	0.215	0.256
		Organic fertilizer (十全有機肥)	2.36E-01	kg	0.192	0.045
		Organic fertilizer (生技 12 號)	7.88E-01	kg	0.195	0.154
		Organic fertilizer (43 號有機質複合肥料)	7.09E-03	kg	1.130	0.008

Material acquisition phase	Fertilizers	Organic fertilizer (福壽有機肥)	1.58E-02	kg	0.201	0.003	
	Packaging	Corrugated carton box (AB 楞紙箱)	3.00E-01	kg	1.340	0.402	
	Transportation	Material transportation 〔營業小貨車(柴油)〕	3.00E-03	tkm	0.587	0.002	
		Material transportation 〔營業大貨車(柴油)〕	1.37E-02	tkm	0.131	0.002	
Manufacturing phase	Energy	Gasoline 〔移動源(汽油)〕	6.69E-02	L	3.010	0.201	
		Electricity 〔外購電力(台電)〕	6.84E-01	kWh	0.590	0.404	
	Waste	Waste transportation (空肥料袋運輸)	2.05E-03	tkm	1.310	0.003	
		Waste transportation (空資材袋運輸)	5.10E-07	tkm	1.310	0.000	
		Waste transportation (空資材瓶運輸)	7.45E-07	tkm	1.310	0.000	
		Waste incineration (空肥料袋處理)	7.58E-05	t	340.000	0.026	
		Waste incineration (空資材袋處理)	1.89E-08	t	340.000	0.000	
		Waste incineration (空資材瓶處理)	2.76E-08	t	340.000	0.000	
	Marketing phase	Transportation	Product transportation (產品運輸)	3.15E-01	tkm	0.683	0.215
	Waste disposal phase	Waste	Waste transportation (廢棄紙箱運輸)	2.67E-03	tkm	1.310	0.003
Waste transportation (廢棄桶柑皮運輸)			1.55E-02	tkm	1.310	0.020	
Organic waste treatment (廢棄桶柑皮處理)			5.70E-04	t	48.300	0.028	
Total carbon emission = 2.589 (kgCO <sub>2</sub> e/3 kg)							

表四、標的柑橘產品 ( 桶柑與茂谷柑 ) 之碳足跡計算結果

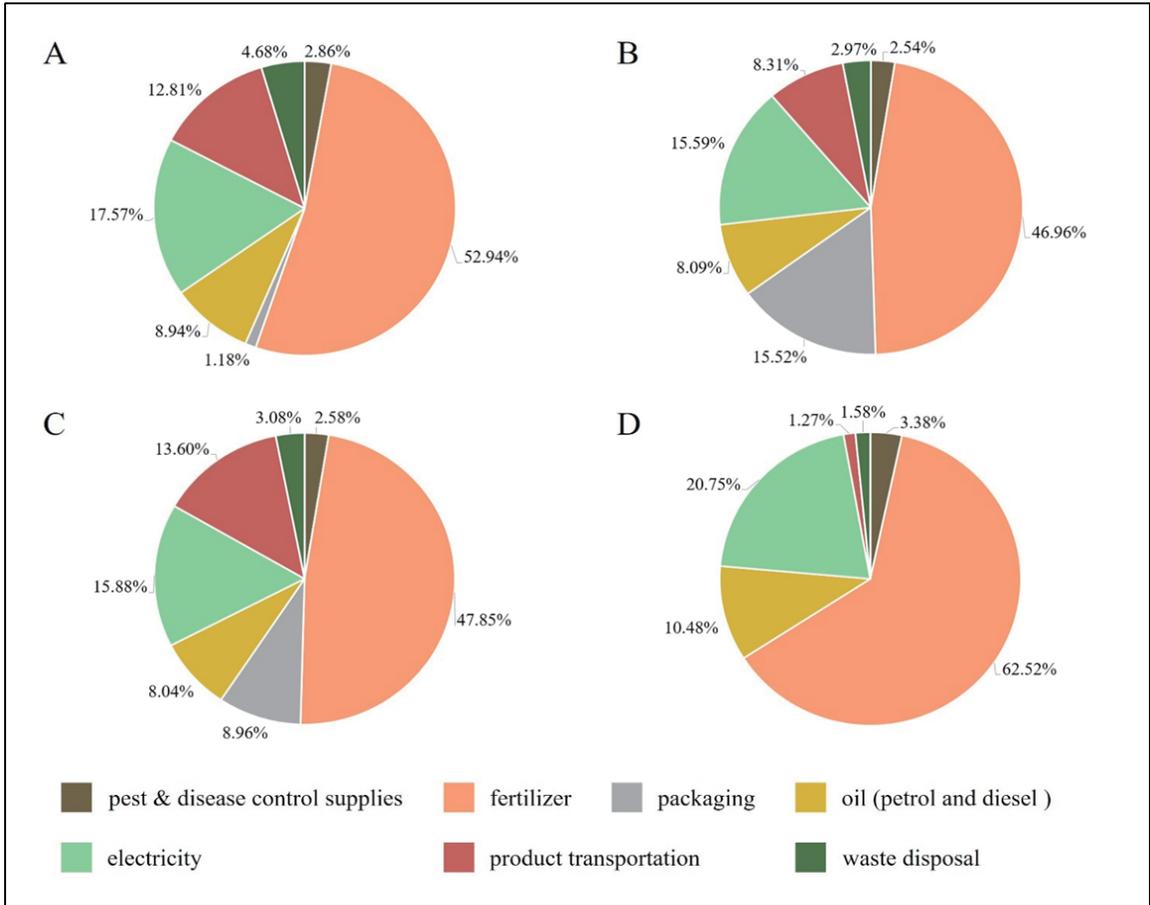
Table 4. Carbon footprint result of citrus products (Tankan and Murcott)

Product	Carbon emission among different life cycle stages (kgCO <sub>2</sub> e)					Total carbon emission
	Material acquisition phase	Manufacturing phase	Marketing phase	Use phase	Waste disposal phase	
1 kg plastic bag packaged Tankan	0.438 (57.11%)	0.211 (27.54%)	0.098 (12.79%)	0 (0%)	0.020 (2.56%)	0.767 (kgCO <sub>2</sub> e/ 1 kg)
3 kg carton box packaged Tankan	1.689 (65.23%)	0.634 (24.48%)	0.215 (8.31%)	0 (0%)	0.051 (1.98%)	2.589 (kgCO <sub>2</sub> e/ 3 kg)
6 kg carton box packaged Tankan	3.028 (59.45%)	1.267 (24.88%)	0.692 (13.58%)	0 (0%)	0.106 (2.08%)	5.093 (kgCO <sub>2</sub> e/ 6 kg)
1 kg Murcott	3.184 (65.96%)	1.569 (32.51%)	0.061 (1.27%)	0 (0%)	0.013 (0.26%)	4.827 (kgCO <sub>2</sub> e/ 1 kg)

### 三、碳排熱點分析與減碳策略初探

將標的柑橘產品之活動數據依類型分為「病蟲害防治資材」、「肥料」、「包裝」、「用油(汽油與柴油)」、「用電」、「產品運輸」與「廢棄處理」，並將各類型之碳排放占比以圓餅圖表示(圖三)。結果顯示，1 kg 塑膠袋包裝桶柑、3 kg 紙箱包裝桶柑、6 kg 紙箱包裝桶柑，及 1 kg 散裝茂谷柑皆以「肥料」為最主要之碳排熱點(52.94%、49.96%、47.85%、62.52%)，其次則為「用電」(17.57%、15.59%、15.88%、20.75%)。在 3 kg 紙箱包裝桶柑與 6 kg 紙箱包裝桶柑當中，「包裝」為第 3 與第 4 高之碳排熱點(15.52%、8.96%)，相較之下，1 kg 塑膠袋包裝桶柑在包裝部分的碳排放占比比較低(1.18%)。「產品運輸」在 3 種桶柑產品的碳排放占比介於 8.31%~13.6% 之間，1 kg 散裝茂谷柑在產品運輸部分的碳排放占比則較低(1.27%)。在肥料施用方面，義大利的克里曼丁紅橘(clementine)、檸檬(lemon)與柳

橙 (orange)、西班牙的克里曼丁紅橘，以及中國的橘子 (*Citrus reticulata* Blanco) 等前人文獻中均顯示肥料為碳排熱點之首 (Pergola *et al.*, 2013; Nicoló *et al.*, 2015; Yan *et al.*, 2015; Falcone *et al.*, 2020)；此外，我國其他農產品 (如：有機米、有機茶) 之碳足跡研究亦揭露肥料為最大的碳排放來源 (陳等，2012；江，2013；陳等，2014)，顯見肥料施用對於農產品碳排放之重要性。建議作物栽培過程可搭配土壤檢測，採用合理化施肥等方式，避免過量施肥，除減低肥料購買成本、防止土壤性質劣化，也可降低肥料造成的碳排放。在電力與用油方面，該有機農場主要用電項目為噴藥機、抽水馬達及自動灌溉系統，用油項目則為碎枝機、手持除草機及乘坐式除草機，建議可檢視相關設備是否過於老舊耗電。若更換為省電、省油設備，短期內雖需負擔設備更新成本，但長期可節省電費、油費並降低能源使用的碳排放。在包裝方面，本研究顯示紙箱包裝之碳足跡比塑膠袋包裝之碳足跡要高，主要因為包材重量所致。因 3 kg 與 6 kg 桶柑紙箱包裝 (0.3、0.34 kg) 大幅重於 1 kg 桶柑塑膠袋包裝 (0.0045 kg) (未發表資料)，故縱使紙箱包裝選用的排放係數 (AB 楞紙：1.34 kgCO<sub>2</sub>e/kg) 較塑膠袋包裝選用的排放係數 (聚丙烯：2.01 kgCO<sub>2</sub>e/kg) 低 (表二)，碳足跡的計算結果仍以紙箱包裝的碳排放量較高，建議可在不影響紙箱承重的前提下，減少紙箱厚度，以降低包裝材質所造成的碳排放量。產品運輸部分，因該有機農場的桶柑與茂谷柑銷售點皆位於國內，且運輸過程無進行冷藏保存，故碳排放量並不高。前人研究顯示，西班牙瓦倫西亞城的臍橙 (navel orange) 生產後，運輸至歐洲各國共計 27 個進口國，平均運輸距離可達 1,826 km，且運輸過程搭配 6~7°C 冷藏保存，導致產品運輸成為碳足跡熱點之首，占整體碳排放量 62%~75% (Ribal *et al.*, 2019)。由於運輸距離長短與運輸過程是否進行額外的能源投入 (如：冷藏、冷凍保存) 直接影響碳排放多寡，因此，若能落實「地產地銷」的供應系統，並強化消費者「在地生產，在地消費」觀念的重要性，不僅可拉近生產者與消費者間的距離，更有助於降低產品長途運輸所產生的高碳足跡。



圖四、標的柑橘產品 (桶柑與茂谷柑) 在不同活動數據類型之碳排放占比，圖 A：1 kg 塑膠袋包裝桶柑，圖 B：3 kg 紙箱包裝桶柑，圖 C：6 kg 紙箱包裝桶柑，圖 D：1 kg 散裝茂谷柑

Fig.4. Contribution of different inputs to total carbon emission of citrus products (Tankan and Murcott). A: 1 kg plastic bag packaged Tankan, B: 3 kg carton box packaged Tankan, C: 6 kg carton box packaged Tankan, D: 1 kg Murcott.

## 結論

在淨零碳排的國際趨勢下，執行產品碳足跡盤查可協助分析碳排放熱點、研擬產品減碳策略，如：原料綠色採購、調整運銷模式、更換環保包裝材料等，有助於環境永續發展。若響應我國碳足跡標籤制度，將計算結果送交合格之產品碳足跡查驗機構通過查證，則可申請環境部碳足跡標籤，將碳排放資訊揭露於產品外包裝供

消費者檢視，除促進綠色消費之外，亦有利於市場區隔與提升品牌形象。消費者優先購買願意揭露碳排放資訊的產品，將鼓勵更多品牌與業者加入，進而促成業者生產較低碳排的產品，此即為「綠色消費」的核心精神。本研究透過輔導苗栗轄區之有機農場進行產品碳足跡盤查，產出全臺第一件有機栽培桶柑與茂谷柑之碳足跡資料，除作為本土碳排放係數供下游業者盤查所用之外；盤查結果與碳排熱點分析亦可提供業者後續進行產品減碳策略研擬之參考。期未來我國更多農產品可投入碳足跡盤查，促進臺灣邁向 2050 年淨零碳排目標，並提升我國農產業之國際競爭力。

## 誌謝

本研究承蒙農業部 112 農科 -14.4.1- 農 -C2(6) 「草莓及柑橘類碳足跡之研究」計畫經費支持，感謝財團法人中衛發展中心劉叢浩經理、廖旭騰經理、陳怡君輔導顧問協助計畫執行與參與數據討論，特此致謝。

## 引用文獻

- 江秀娥、蔡政諺、林盈甄、張采蘋。2013。推動臺灣農產品碳標籤可行性之研究－以米產品碳標籤為例。因應氣候變遷及糧食安全之農業創新研究 -102 年度成果發表暨研討會論文集 48-62。
- 林盈甄、江秀娥、張采蘋。2015。台灣消費者對碳標籤的認知與購買意願研究。農業試驗所技術服務季刊 103:23-26。
- 陳亮清、沈柏憲、楊台富。2012。有機茶產品碳足跡研究。東南學報 37:203-214。
- 陳亮清、卜慶翔、楊台富。2014。有機米產品碳足跡計算。東南學報 39:209-221。
- 國家發展委員會、環境部、經濟部、科技部、交通部、內政部、農業部、金融監督管理委員會。2022。臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明。
- 環境部。2022。生鮮水果碳足跡產品類別規則第 1.0 版 (文件編號 22-061)。
- 環境部。2024。2024 中華民國國家溫室氣體排放清冊報告。

環境部。2025。環境部推動產品碳足跡管理要點－附件三、產品碳足跡數據量化與查證規範。

- Falcone, G., T. Stillitano, A. I. De Luca, G. Di Vita, N. Iofrida, A. Strano, G. Gulisano, B. Pecorino, and M. D'Amico. 2020. Energetic and economic analyses for agricultural management models: the Calabria PGI clementine case study. *Energies*. 13(5):1289. DOI: 10.3390/en13051289.
- IPCC. 2018. Global Warming of 1.5°C: An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. DOI: 10.1017/9781009157940.
- IPCC. 2021. Climate Change 2021: The physical science basis: contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. DOI: 10.1017/9781009157896.
- Nicoló, B. F., M. C. De Salvo, C. Ramírez-Sanz, A. V. Estruch, N. Sanjuán, G. Falcone, and A. Strano. 2015. Environmental sustainability of the clementine production systems in Italy and Spain: an approach based on Life Cycle Assessment. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. DOI: 10.2495/ECO150161.
- NOAA National Centers for Environmental Information. 2024. Annual 2023 global climate report. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202313>.
- Pergola, M., M. D'Amico, G. Celano, A. M. Palese, A. Scuderi, G. Di Vita, G. Pappalardo, and P. Inglese. 2013. Sustainability evaluation of Sicily's lemon and orange production: an energy, economic and environmental analysis. *Journal of Environmental Management*. 128:674-682.
- Ribal, J., V. Estruch, G. Clemente, M. Loreto Fenollosa, and N. Sanjuan. 2019. Assessing variability in carbon footprint throughout the food supply chain: a case study of Valencian oranges. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 24(8):1515-1532.
- Yan, M., K. Cheng, Q. Yue, Y. Yan, R. M. Rees, and G. Pan. 2015. Farm and product carbon footprints of China's fruit production—life cycle inventory of representative orchards of five major fruits. *Environmental Science and Pollution Research*. 23:4681-4691.

# Research on product carbon footprint of organic citrus

Cing Shih, Mei-Chun Lu\*

Miaoli District Agricultural Research and Extension Station, Ministry of Agriculture

## ABSTRACT

To promote the disclosure of carbon emission information for agricultural products, carbon reduction, and green consumption, this study focused on 4 citrus products produced in an organic farm in Xihu Township, Miaoli County, for carbon footprint assessment: 1 kg plastic bag packaged Tankan, 3 kg carton box packaged Tankan, 6 kg carton box packaged Tankan, and 1 kg Murcott. Life cycle assessment (LCA) and carbon footprint calculation were performed based on ISO 14067:2018 international standard and Fresh Fruit Carbon Footprint Product Category Rule (CFP-PCR) (registration number: 22-061). The results indicated that the carbon footprints for 1 kg plastic bag packaged Tankan, 3 kg carton box packaged Tankan, 6 kg carton box packaged Tankan, and 1 kg Murcott were 0.767 kgCO<sub>2</sub>e/1 kg, 2.589 kgCO<sub>2</sub>e/3 kg, 5.093 kgCO<sub>2</sub>e/6 kg, and 4.827 kgCO<sub>2</sub>e/1 kg respectively. In addition, carbon emission of “material acquisition phase” among 4 citrus products accounted for 57.11%, 65.23%, 59.45%, and 65.96% of total carbon footprint; and “fertilizer” was identified as the primary hotspot (the carbon emission accounted for 52.94%, 49.96%, 47.85%, and 62.52% of total carbon footprint, respectively), followed by “electricity” in second place, and “packaging”, “product transportation” or “oil (petrol and diesel)” in third place. Therefore, it is recommended that farm manager conduct soil testing, rational fertilization, and change the packaging material...etc. to achieve carbon reduction. This study established the first carbon footprint information of citrus in Taiwan, which not only serves as local carbon emission factors for downstream producers, but also provides insights for farm managers to develop carbon reduction strategies.

**Keywords:** product carbon footprint, organic farming, citrus, carbon hotspot

\* Corresponding author email: lumj@mdares.gov.tw