

# 食物長途運輸之碳足跡分析： 以進口蘋果為例

曾憲郎\*

國立中山大學經濟研究所

蘇怡臻

國立中山大學經濟研究所

**關鍵詞：**全球暖化、二氧化碳當量、碳足跡、碳抵消、碳中和、碳排放稅

**JEL 分類代號：**Q22, Q27, Q57

---

\* 聯繫作者：曾憲郎，國立中山大學經濟研究所，高雄市鼓山區蓮海路 70 號。電話：(07)5252000 轉 5752；傳真：(07)5255752；電子郵件：shannon@mail.nsysu.edu.tw。另本文初稿承蒙兩位匿名評審提供諸多寶貴意見，特此致謝。文中若有疏失之虞，悉為作者之責。

## 摘要

本文以 ISO 14040 的國際標準區分蘋果的生命週期，並採用 PAS 20 的做法，將所有的排放指標換算為二氧化碳當量，比較進口蘋果與本土蘋果的碳排放差異。

研究結果顯示，2014 年全年度由於海運進口蘋果產生的額外碳排放為 43,034 公噸二氧化碳當量。若想藉由資助風力發電來進行碳抵銷，需要花費新台幣 48,456,284 元才能達成碳中和。若想藉由植樹減碳活動來抵銷，則需要造人工針葉林 2,962 公頃；或是人工闊葉林 2,379 公頃。因此為了減緩溫室效應，政府應課徵高碳排放稅讓消費者有誘因選擇低碳、當地及當季的台灣食材。

## 1. 前言

美國國家海洋與大氣管理局 (national oceanic and atmospheric administration, NOAA) 旗下的國家氣候資料中心 (national climatic data center) 統計顯示 2015 年是全球氣溫史上最炎熱的一年 (NOAA, 2016)，而跨政府氣候變遷小組 (intergovernmental panel on climate change, IPCC) 已提出警告，若人類的各種經濟活動完全照目前的水準持續下去，在本世紀內可能導致全球平均氣溫上升 2~4 攝氏度 (IPCC, 2013)，而此舉可能對人類的生存活動、經濟發展、水源、健康以及糧食短缺形成史無前例的威脅 (IPCC, 2013)。Bernstein et al. (2008) 的研究顯示，全球暖化將帶來災難性的結果。如動、植物物種的消失、海平面上升及冰雪融化等。

造成全球暖化的主要原因來自於大氣中溫室氣體 (greenhouse gas) 濃度的改變，這包含二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)、甲烷 (CH<sub>4</sub>)、一氧化二氮 (又稱笑氣, N<sub>2</sub>O) 以及人造溫室氣體氯氟碳化合物 (CFCs)、全氟碳化物 (PFCs)、氫氟碳化物 (HFCs)、懸浮微粒、土地覆蓋及太陽輻射等 (Bernstein et al., 2008)。而溫室氣體排放的增加則受許多經濟活動的影響，如農業耕作、食品處理、石化燃料的使用及工業廢氣的排放等。

碳足跡 (carbon footprint) 是用來衡量人類在日常生活中消耗的二氧化碳，此概念最早來自英國，也是世界上最早執行“碳足跡”制度的國家。碳足跡通常以二氧化碳當量來表示，可定義為一項活動 (activity) 或產品在整個生命週期中，因經濟活動直接或間接產生的溫室氣體排放量 (Wiedmann and Minx, 2007)。碳足跡也是繼溫室氣體後的另一個重要的議題，此議題之重心在於得知一個商品或服務從原料、生產、運輸、使用及廢棄整個生命週期中，排放多少溫室氣體量。相較於一般大家瞭解的溫室氣體排放量，碳足跡的差異之處在於從消費者端出發，破除所謂『有煙囪才有污染』的觀念。

過去已有諸多研究顯示，與糧食有關的生產與消費行為對於溫室氣體的排放具有舉足輕重的影響 (約占總排放的 19%~30%) (Tukker et al., 2006;

Hertwich and Peters, 2009; Benders et al., 2012)。如果消費者願意以低碳食物替代高碳食物，則提供高碳足跡產品的企業將面臨銷售下滑的困境（Edwards-Jones et al., 2009）。因此，消費者的消費行為對氣候變遷具有重大影響，透過適當的購買型態和以低碳食物替代高碳食物的消費模式，將可大幅降低溫室氣體的排放（Zhongyue et al., 2015）。台灣素有水果王國的美譽，生產各項農產品的品質屢獲肯定，但在地理條件的限制下，仍然有許多產品需要仰賴進口，以最普遍的進口水果—蘋果為例，每年約有 13 萬噸的蘋果自國外進口（財政部關務署，2014），但市場上各種蘋果的售價一般基於生產成本、運輸成本以及供需情況決定，通常並未反映出其所產生的高碳足跡。

計算碳足跡需要由蘋果生命週期的每一個環節分別作探討。由種植果樹時使用農藥對環境的傷害、蘋果出口前先運送至包裝集散地的陸運運輸排放、包裝前的消毒、上蠟以延長保鮮期以及符合進口國衛生標準所使用的化學物質、因應長途海運的包裝耗材、到港後送往各批發市場以及零售市場的陸運運輸排放、消費者前往購買的交通方式、消費者攜帶回家的各種包裝（塑膠袋或紙箱）、包裝耗材後續的處理方式等，都需要計算在碳足跡裡頭。

本研究著重於比較消費進口蘋果與台灣產蘋果，其分別所產生的碳足跡之差別。由於台灣產蘋果也需要使用農藥、清洗包裝、以陸運送往各縣市批發市場與零售市場、消費者以各種交通工具和包裝方式自各商店購買蘋果及包裝耗材的處理，這些處理程序與進口蘋果相同，唯一差別在於本地蘋果少了海運運輸部分。不過值得注意的是，由於蘋果屬於溫帶水果，並不易在地處亞熱帶的台灣平地種植，因此本土的蘋果大都生產在高山山坡上，其在耕種的生產投入及對環境水土維護的要求均較溫帶國家高，這意味著台灣在種植蘋果上其生產投入與環境成本上皆要付出較大的代價。由於此部分缺乏足夠資料去評估，因此本研究將把焦點放在計算進口蘋果跨國海運所排放的溫室氣體量。也就是在與台灣產蘋果相較後，消費進口蘋果在運輸上所多出來的碳足跡部分，此為本研究的第一個目的。

此外，在必須減少排放來減緩地球暖化的壓力下，有許多提供給民眾及企業的碳抵銷選擇應運而生。Lovell (2010) 摘要了當時市占率前四名的碳抵

銷的標準與做法，從降低氫氟碳化物（冷媒）的使用、改善能源效率、發展再生性能源及造林等做了列舉。因此，以抵銷長途海運碳排放為目標，參考一般民眾能夠取得的碳抵消<sup>1</sup>管道作為解決問題的選項，計算若想在該項目達到碳中和應付出多少相對應的努力及成本，此為本研究的第二個目的。

## 2. 碳足跡與碳抵銷：理論與文獻回顧

### 2.1 農產品生命週期

農產品生命週期，包含了農產品從原料、製造、配送、使用到最終處置的連結與互動的連續過程（Robertson et al., 2014），如圖 1 所示。

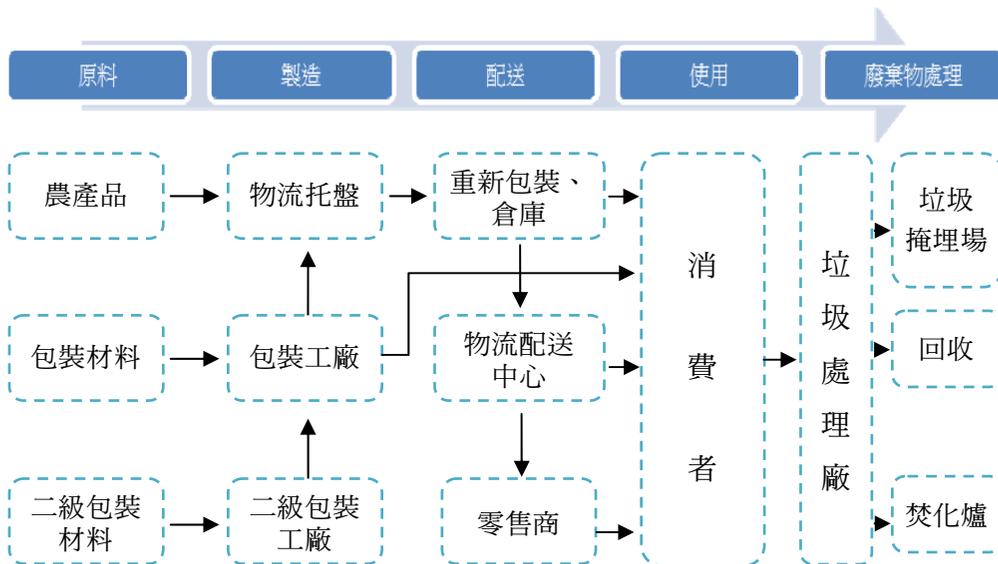


圖 1 農產品生命週期

資料來源：Robertson et al. (2014) 及本文整理。

<sup>1</sup> 碳抵消：透過資助減少溫室氣體排放的項目，例如：造林。來彌補個人活動所造成全球暖化的負面影響。

根據 Robertson et al. (2014) 的研究顯示，一般農產品在各生命週期之間對環境的傷害可分成以下幾個階段，流程如圖 2 所示：

第一階段：生產過程中的農藥使用對環境的傷害。

第二階段：運送至清洗、消毒、包裝的集散地，中途的運輸排放以及水資源使用、以化學物質用於消毒、包裝耗材的使用。

第三階段：載運至出口港之間的運輸排放。

第四階段：跨國運輸至進口港之間的長途海空運輸排放。

第五階段：由港口至各地蔬果集散地（果菜市場、大賣場等）之間的陸運運輸。

第六階段：消費者以各種交通工具（大眾運輸、車）前往購買的運輸排放；消費者以各種包裝（塑膠袋、紙箱等）將其攜帶回家的包裝耗材使用。

第七階段：包裝耗材最終的處理（垃圾焚燒所產生的熱能可再作利用、回收）。

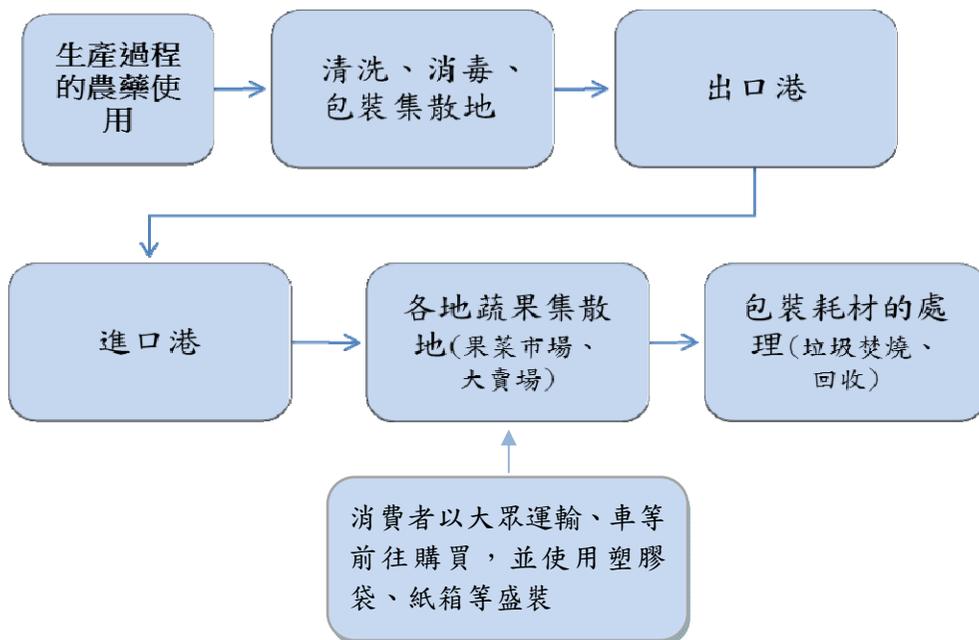


圖 2 農產品在各生命週期對環境的傷害

資料來源：Robertson et al. (2014) 及本文整理。

## 2.2 生命週期評估—原則與架構：從 ISO 14040：2006 到 PAS 2050：2008

欲提高能源使用效率對生產結構有所調整，必須要對整個生產流程進行分析，「生命週期評估（life cycle assessment）」即為此方向發展出來的工具之一，自二十世紀中葉發展至今，生命週期評估的內容逐漸完備，其指產品自原料生產、加工、包裝、運輸、販售、使用直至最後的廢棄物處理，亦即從搖籃到墳墓（cradle to grave），每一個環節內的投入和產出及潛在環境衝擊之彙整與評估（Finkbeiner et al., 2006）。（見圖 3）

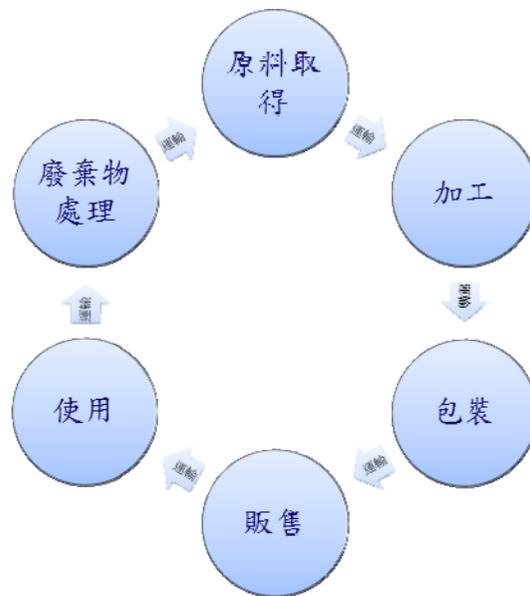


圖 3 生命週期評估

資料來源：Finkbeiner et al. (2006) 及本文整理。

早期碳足跡的概念即以產品／服務的生命週期評估為基礎，著重於每個環節內的二氧化碳排放量，但這種「有煙囪才有汙染」的觀念，隨著時間的推移，碳盤查的技術逐漸發展出一套更嚴謹的架構。1997 年國際標準化組織（international organization for standardization, ISO）有鑑於環保意識的抬頭以

及生命週期評估的發展，頒布了一套國際化的標準 ISO 14040，代表一產品系統在其生命週期期間之投入、產出以及潛在環境衝擊的彙整與評估，而評估的面向涵蓋了資源使用、人體健康與生態的影響。

ISO 14040 的生命週期評估提供了完整的產品／服務環境衝擊綜合比較方法，但這種一項一項檢討各種衝擊因子對環境影響的做法，並無法讓決策者或是消費者迅速地消化這麼多訊息。相較之下，2008 年英國標準協會（british standards institution）集合碳信託（carbon trust）與其他組織聯合制定的（publicly available specification 2050, PAS 2050）碳足跡計算準則顯得簡潔易懂，並適用於各種產業包含服務業。

在概念上，PAS 2050 與 ISO 14040 在生命週期評估的邏輯是完全相同的，而主要的分別在於 PAS 2050 著重在溫室氣體對地球的傷害，省略掉生命週期評估裡面所涵蓋的環境衝擊。換言之，PAS 2050 即是將 ISO 14040 關於碳足跡的部分擷取出來，讓決策者以及民眾能夠以「二氧化碳當量」一個單位，而簡單的對各種產品做出比較。

## 2.3 從食物里程到碳足跡與碳抵消

傳統經濟學強調效用極大化的概念即是讓個人生產各自擅長的東西，例如：稻米，再透過交換得到自己日常生活所有的必需品，例如：水果及衣服，會比自己一個人生產所需物資兼顧稻米、水果及衣服生產等，來得更有效率。英國學者 Paxton (1994) 正式地提出「Food Miles」<sup>2</sup> 這個詞，直指供應鏈中的廠商利用傳統經濟學的觀點以及低廉的石油運輸成本，大量進口來自南非的蘋果、孟加拉的蝦子和肯亞來的豆子，一邊以運輸成本為名對消費者收取高價，另一邊以大量採購壓低農產品採購的成本（5%）而不顧農人的工作環境，其中約 88% 的收益都歸到了進口商、批發商、運輸產業以及零售商的口袋。

Paxton (1994) 在文中探討英國仰賴外國進口蘋果可能造成的影響，根據

---

<sup>2</sup> Food Miles：食物里程指的是食物由農場至消費者餐桌上的距離，食物里程越高，代表食物經過越長距離的運送才抵達消費者手中，越短的食物里程表示越接近當地、越可能為當季的新鮮食材。

統計，英國市場上有百分之七十五的蘋果來自法國、南非、紐西蘭等地，相較於鄰近的法國，只需進口百分之十的蘋果來彌補國內供應量不足的缺口，而農產品在加工運輸的過程中，所消耗的能源可能是種植時的十倍，而消費者除了多付錢並得到營養價值較低的產品之外，還可能造成進口國農村的萎縮、出口國缺乏生物多樣性、過度使用農藥除蟲以及保存農產品的新鮮和過度進口的浪費問題。

Kemp et al. (2010) 也在食物里程的概念提出了十幾年之後，針對英國的食品消費者做了問卷調查。調查顯示，百分之二十一點五的民眾可能會由於距離過遠而拒絕購買來自紐西蘭的產品；百分之五點六的民眾會真的查看商品來源國作為選購新鮮食材的考量；只有百分之三點六的民眾會因為「對環境較友善」而刻意選購英國產的食材。

Hertwich and Peters (2009) 年統計了地球上 73 個國家、13 個地區的溫室氣體排放，並劃分為八個項目進行探討，分別為：食、衣、住、行、建設、生產活動、服務以及貿易。而分配極端不平均的現象由每單位資本排放 0.7 噸二氧化碳當量的馬拉威、11.3 噸的台灣、28.6 噸的美國以及 33.8 噸的盧森堡可見一斑，再細分則可發現，食物一環佔了當中排放的百分之二十，且無論所得高低，在食物的項目都是較無彈性。

同年，有鑒於越來越多民眾關心地球暖化的影響，想運用坊間資源計算家庭的溫室氣體排放，愛爾蘭學者 Kenny and Gray (2009) 深入分析了六種具有公信力以及政府單位採用的溫室氣體計算模型，各種模型均有各自考量的基準，例如：各國使用不同排放的大眾運輸工具。

在 2014 年，以 Hassard et al. (2014) 為首的京都大學學員為日本的咖啡市場進行了調查，以 PAS 2050 生命週期評估規範為依據，針對市面上常見的濾泡式咖啡、即溶咖啡以及罐裝咖啡等品項，從種植、採收、沖洗分級、運送、研磨、烹煮、包裝及廢物回收等個別分項探討每一個生產環節中的能源消耗及溫室氣體排放，提供了很有價值的數據。

紐西蘭 Zespri 奇異果公司委託 Robertson 等學者在 2014 年進行了一項內部統計，以 ISO 14040 和 PAS 2050 為基礎，針對其主要出口至德國以及日本的奇異果，在包裝以及運輸方面的碳足跡做了詳盡的統計，除了以標準化

步驟呈現奇異果自生產到配送及廢棄物處理的流程，還包含了包裝器材供應商的環境數據統計。

同樣採取 ISO 14040 以及 PAS 2050 為計算基礎的還有 Iriarte et al. (2013)，對世界上最大香蕉出口國－厄瓜多爾所調查，由農田至進口國港口的香蕉碳足跡計算，也為本文所採取的計算方式提供了支持。

在必須減少排放來減緩地球暖化的壓力下，有許多提供給民眾及企業的碳抵銷選擇應運而生。Lovell (2010) 摘要了當時市占率前四名的碳抵銷的標準與做法，從降低氫氟碳化物（冷媒）的使用、改善能源效率及發展再生性能源、造林以至家畜排放的甲烷等做了列舉。

為兼顧全球經濟成長的考量，以氫氣作為清潔能源取代化石燃料是被廣泛討論的做法，但由於技術性的限制，一直未能實行。Muradov and Veziroğlu (2008) 建議由石化燃料到氫氣燃料中間的過渡期，人們必須想辦法在 2050 年之前以清潔能源發電十兆瓦特，而期間除了發展固碳等碳封存技術之外，還需利用核能、太陽能、風力發電等能量來分解水以得到更多氫能源。

### 3. 實證分析

本文即是以生命週期評估的想法為基礎，將進口蘋果的生命週期區分出各個階段，但與前人在農產品碳足跡計算文獻不同的是，Robertson (2014) 與單一奇異果出口商 Zespri 相配合，取得其整個供應鏈的詳細資料統計。而本文在計算蘋果碳足跡時由於種植蘋果的廠商家數眾多，各家廠商並無一致的資源耗用統計，因此本研究專取其中跨國海運的部分做運算，再融合碳足跡計算準則的方式，而在數據引用方面也將遵循 PAS 2050 的一般性原則，將所有溫室氣體指標量化成二氧化碳當量來進行比較。

根據中華民國財政部關務署的紀錄，台灣近十年來超過百分之九十的新鮮蘋果皆由美國、智利、日本以及紐西蘭進口（見表 1）。因此本研究將以美國、智利、日本以及紐西蘭這四個地區之進口蘋果為研究標的，計算其在長途海運運輸中所產生的碳排放量。

表 1 近十年從各國進口蘋果數量統計

單位：公噸

年度 國別	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
美國	54,619	42,355	43,140	46,710	44,630	40,439	52,425	63,451	58,961	58,892
智利	33,749	40,299	33,429	35,288	31,683	51,305	46,432	44,793	52,307	52,494
日本	15,143	17,823	24,034	23,153	19,675	18,541	15,429	9,083	16,324	19,604
紐西蘭	24,969	13,995	17,287	19,704	16,334	15,511	17,656	12,048	8,748	20,146
南非	940	984	1,377	2,911	2,244	2,658	1,344	3,182	5,775	5,065
南韓	2,870	1,017	1,249	3,348	7,135	6,563	2,490	1,142	1,361	1,027
法國	720	565	657	63	466	318	380	523	178	407
加拿大	2,598	416	363	498	0	148	542	78	473	242

資料來源：財政部關務署（2014）。

### 3.1 長途海運所造成的溫室氣體排放

Paxton (1994) 提到，食物在長距離運輸可能引發的潛在危險，其中一項就是以陸海空交通工具運送農產品所必須的燃油推動力，不僅耗用非再生性資源，也是溫室效應的因素之一。由於沒有直接的數據統計各國蘋果分別由哪個港口出口或是相關的出口比重，因此本文在計算各國蘋果出口至台灣的距離時，以高雄市果菜批發市場的訪查為依據：美國的蘋果大多由華盛頓州的 Tacoma 港出口，San Antonio 為智利貨運吞吐量最大的港口，而日本蘋果多由青森縣產，載運至 Yokohama 橫濱港出口，而 Auckland 港則為紐西蘭最繁忙的商業港口，蘋果則由以上各港口使用冷凍貨櫃運送至台灣基隆港，而各港口至基隆港的距離（見表 2）。

表 2 各主要蘋果出口港口至台灣基隆港的距離

單位：公里

蘋果出口港	美國	智利	日本	紐西蘭
蘋果進口港	Tacoma	San Antonio	Yokohama	Auckland
基隆港	9896.8 km	18774.04 km	2151.87 km	9215.76 km

資料來源：高雄市果菜批發市場、SeaRates (2015) 及本文整理。

港口至港口間的長途運輸工具則參考台灣國際造船股份有限公司，在 2015 年 1 月交付陽明海運股份有限公司，搭載最新節能技術的「維明輪」為基準，該貨櫃輪最高載重為 57,320 公噸，其中可搭載 400 個冷凍貨櫃，每個冷凍貨櫃艙皮重 3,000 公斤，最大承載量 27,480 公斤，表示若該貨櫃輪的冷凍貨櫃區塊全部裝滿蘋果，包含貨櫃本身重量為 12,192 公噸，佔整艘貨輪載重的 21.27%，而蘋果本身為 10,992 公噸，占全船貨物總重的 19.18%（見表 3）。

表 3 維明輪可裝載冷凍貨物佔總貨輪重量

單位：公噸

	20 呎冷凍櫃	400 個	佔整貨櫃總載重
皮重	3.00	1,200.00	2.09%
載荷量	27.48	10,992.00	19.18%
總重	30.48	12,192.00	21.27%

資料來源：陽明海運股份有限公司（2015）。

根據表 1 至表 3 之資料，參考 Laura et al. (2014) 所計算厄瓜多爾香蕉的數據，即為 0.0216 kg CO<sub>2</sub>e/tkm，作為基本單位，由以下的公式

$$T_i = E \times D_i \times \frac{K}{1000}$$

$i=1\sim 4$ , 1 表美國、2 表智利、3 表日本、4 表紐西蘭。其中  $T_i$  表出口港口至基隆港單程貨櫃船溫室氣體排放量

$E$  為基本排放單位（0.0216 kg CO<sub>2</sub>e /tkm）

$D_i$  為出口港口至台灣基隆港的距離

$K$  為貨輪貨櫃總載重量

可計算出冷凍貨櫃船由各國運送至基隆港的溫室氣體排放量（見表 4）。

表 4 由出口港口至基隆港單程溫室氣體排放量

單位：t CO<sub>2</sub>e

出口港 \ 進口港	美國 Tacoma	智利 San Antonio	日本 Yokohama	紐西蘭 Auckland
基隆港	12,253.35	23,244.36	2,664.26	11,410.14

資料來源：本研究整理。

此外，依據公式： $[\text{貨櫃船溫室氣體排放}(t\ CO_2e) \times \text{蘋果貨物佔整船貨物比重}(\%)] / \text{蘋果重}(t)$ ，可得出由出口港口至基隆港，平均每公斤蘋果的溫室氣體排放量（見表 5）。

表 5 由出口港口至基隆港每公斤蘋果的溫室氣體排放

單位：kg CO<sub>2</sub>e /per kg

出口港 \ 進口港	美國 Tacoma	智利 San Antonio	日本 Yokohama	紐西蘭 Auckland
基隆港	0.24	0.45	0.05	0.22

資料來源：本研究整理。

由表 5 可知，民眾自果菜批發市場購買自國外進口的蘋果，在不考量農藥使用、陸運運輸以及包裝耗材的情況之下，每購買一公斤來自智利的蘋果，已排放 450 公克的溫室氣體。根據表 1 及表 5 的資料，可以算出 2005 年至 2014 年台灣來自各國由海運進口蘋果所產生的溫室氣體排放量（見表 6）。公式如下： $\text{每公斤蘋果的溫室氣體排放}(kg\ CO_2e/per\ kg) \times \text{當年度進口總重}(t)$ 。

表 6 台灣近年來自各國由海運進口蘋果所產生的溫室氣體排放量

單位：t CO<sub>2</sub>e

年度 \ 國別	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
美國	12,951	10,043	10,229	11,075	10,582	9,588	12,430	15,045	13,980	13,964
智利	15,180	18,126	15,036	15,872	14,251	23,076	20,885	20,147	23,527	23,611
日本	781	919	1,239	1,194	1,014	956	795	468	842	1,011
紐西蘭	5,513	3,090	3,817	4,350	3,606	3,425	3,898	2,660	1,931	4,448
合計	34,424	32,178	30,321	32,492	29,454	37,045	38,009	38,321	40,280	43,034

資料來源：本研究整理。

由表 6 得知在西元 2014 年，利用長途海運自美國進口蘋果排放了溫室氣體 13,964 公噸二氧化碳當量；來自智利 23,611 公噸二氧化碳當量；全年度為 43,034 公噸的二氧化碳當量。

碳抵消可透過在世界其他地方減少排放而幫助抵償在某處的碳排放。一般情況下，碳抵銷是按照二氧化碳當量（CO<sub>2</sub>e）的公噸計量和出售的。購買碳抵消意味著其他地方的大氣層中將減少等量的二氧化碳排放。碳抵消讓企業（和越來越多的消費者）有機會減少其活動所帶來的不利影響。

下一節本研究將計算消費者或企業若想抵銷因長途海運進口蘋果所產生的額外溫室氣體排放，需要花費多少的金額購買等量的碳抵銷額度，以達到碳中和的目的。此外，本研究也將計算若以植樹實踐碳抵銷的活動，所需要的種植面積。

### 3.2 抵銷溫室氣體排放

以香港為營運中心的低碳亞洲機構 Carbon Care Asia，以提供碳抵銷項目來協助企業將永續發展的價值觀納入營銷策略中。而開發中國家的友善環境項目（例發電、植樹等）可向氣候變遷委員會申請登記為清潔發展機制項目，而經過登記認證後的項目則藉由低碳亞洲募集資金。認同永續理念的企業或個人則可透過低碳亞洲購買所需的額度，間接資助該項清潔發展項目。

一般所購買的減碳額度項目不外乎以下幾種：風力發電、水力發電、生質能源發電以及植樹等項目，根據 Carbon Care Asia (2015) 這個機構的資訊顯示，認同永續理念的企業或個人可透過資助風力發電、植樹造林活動、水力發電或生質能源發電來作碳抵銷。而要減少 0.25 公噸的二氧化碳當量的費用為：資助風力發電一港幣 70 元、植樹造林活動一港幣 40 元、水力發電和生質能源一港幣 20 元（Carbon Care Asia, 2015）。經過轉換運算後，可以得到透過資助風力發電來抵銷一公噸的二氧化碳當量的費用為新台幣 1,126 元；資助植樹造林活動為新台幣 643 元，水力發電和生質能源發電則為 321 元（見表 7）。

表 7 低碳亞洲提供的碳抵銷項目及價格

單位：新台幣

	風力發電	水力發電	生質能源發電	植樹
價格／公噸二氧化碳當量	1,126	321	321	643

資料來源：Carbon Care Asia (2015) 及本研究整理。

說明：港幣兌台幣匯率以 2015/6/10 收盤價 4.02 計算。

由表 7 的資料，透過公式可以算出各年度進口蘋果造成的額外碳排放所需各種碳抵銷項目金額。表 8 列出 2014 年進口蘋果造成的額外碳排放所需各種碳抵銷項目金額。

表 8 2014 年進口蘋果造成的額外碳排放所需各種碳抵銷項目金額

單位：新台幣/NT\$

	風力發電	水力發電	生質能源發電	植樹
額外成本	48,456,284	13,813,914	13,813,914	27,670,862

資料來源：本研究整理。

說明：公式如下：2014 年由海運進口蘋果所造成額外溫室氣體排放（以二氧化碳當量計算）×以各種項目抵銷溫室氣體排放的價格。

由表 8 可得出，若想以資助風力發電項目來抵銷全台灣在 2014 年以海運進口蘋果所造成的額外碳排放，需花費新台幣 48,456,284 元；資助水力及生質能發電需要 13,813,914 元；資助植樹造林活動需要 27,670,862 元。

### 3.2.1 林地的碳貯存變化與減碳之效益分析

中華民國依據聯合國氣候變化綱要公約（united nations framework convention on climate change, UNFCCC）以及京都議定書（Kyoto protocol）的規範，參考跨政府氣候變遷小組 IPCC 的統計辦法，2014 年彙編年度國家清冊報告（annual national inventory report），用以刊載詳細的溫室氣體排放與吸收量數據、計算方法以及趨勢等。其中，關於林業部門的統計資料為本研究的重要參考數據。

依據第三次台灣森林資源及土地利用調查結果，1993 年台灣總林地面積為 2,100 千公頃，加上自 1994 年至 2013 年的造林面積，減去因採伐與干擾所損失的部分，可得 2013 年台灣林地總面積為 2,135,327 公頃（見表 9）。經查 1993 年台灣林業總碳量為 161,095 千公噸碳，加上自 1994 年至 2012 年的年度碳吸收變化，計算可得 2013 年台灣林地總含碳量為 965,038 千公噸二氧化碳當量（見表 10）。至 2013 年資料計算可得，台灣的林地截至 2013 年為止平均每公頃林地約吸存了 415.92 公噸二氧化碳當量（965,038 千公噸二氧化碳當量/2,135,327 公頃）。

表 9 1993-2013 年度林地面積變化

單位：公頃

年份	面積	新種植	採伐林地	採伐竹林	干擾面積	年度末面積
1993		4,873	575	675	1,251	2,100,283
1994		4,712	439	532	3,806	2,102,565
1995		3,558	625	587	546	2,102,400
1996		5,230	500	293	7,519	2,099,318
1997		5,246	448	184	2,969	2,100,963
1998		7,485	458	260	1,642	2,106,088
1999		8,300	393	493	2,440	2,111,062
2000		5,227	632	383	4,353	2,110,921
2001		4,934	405	124	1,621	2,113,705
2002		7,484	624	390	742	2,119,433
2003		7,285	739	455	800	2,124,724
2004		4,868	705	333	1,006	2,127,548
2005		1,596	500	342	3,133	2,125,169
2006		409	587	622	158	2,124,211
2007		1,135	326	339	1,049	2,123,632
2008		518	180	465	284	2,123,221
2009		3,267	158	438	5,834	2,120,058
2010		2,944	159	562	97	2,122,184
2011		7,098	142	370	33	2,128,737
2012		4,965	151	378	10	2,133,163
2013		2,634	170	285	15	2,135,327

資料來源：行政院環保署（2015）及本研究整理。

本研究根據國家溫室氣體清冊報告的資料，考量台灣土地的情況以樟樹、臺灣檫、相思樹、光臘樹做為闊葉林的碳吸存潛力評估基準；肖楠、柳杉、杉木作為針葉林的評估基準，針闊葉混和林則為針葉及闊葉林的平均。而竹林則以孟宗竹為基準評估全民造林運動的碳吸存潛力。

由於根據中華民國國家溫室氣體清冊報告，自 1990 年度開始才有關於造林及碳吸存變化的統計資料，因此，本文以該年為計算基準來看其造林成效。經計算顯示，人工種植一公頃針葉林一年可吸存 15 公噸二氧化碳當量、針闊葉混和林為 16 公噸、闊葉林 18 公噸、竹林 34 公噸二氧化碳當量（見表 11）。

表 10 1993-2013 年度林地碳吸存量變化

單位：千公噸二氧化碳當量

年份	年度碳吸收變化	年度末含碳量
1993	19,107	590,682
1994	19,162	609,844
1995	19,187	629,031
1996	19,041	648,072
1997	19,217	667,289
1998	19,217	686,506
1999	19,220	705,726
2000	19,275	725,001
2001	18,692	743,693
2002	19,455	763,148
2003	19,499	782,647
2004	18,905	801,552
2005	18,843	820,395
2006	18,938	839,333
2007	18,920	858,253
2008	19,015	877,268
2009	17,218	894,486
2010	18,923	913,409
2011	19,103	932,512
2012	19,129	951,641
2013	13,397	965,038

資料來源：同表 9。

表 11 1990 年度造林成效統計

面積／碳量	林種			
	針葉林	針闊葉混合林	闊葉林	竹林
造林面積（公頃）	959	67	2,696	161
碳量變化（公噸）	3,800	300	13,300	1,500
二氧化碳當量（公噸）	13,933	1,100	48,767	5,500
平均碳吸存量 （公噸二氧化碳當量）／公頃／年	15	16	18	34

資料來源：同表 9。

### 3.2.2 植樹碳抵銷之實證分析

根據前一節的數據可得知若以 2014 年的美國蘋果進口量為準，想以植樹減碳來抵銷當年度以海運方式運輸到台灣的溫室氣體排放，則需以人工種植 961.1 公頃的針葉林；或是 850.52 公頃的針闊葉混和林；771.97 公頃的闊葉林；亦或是 408.76 公頃的竹林。若計算四個主要國家，美國、智利、日本和紐西蘭的進口總量則需要人工造針葉林 2,961.92 公頃或針闊葉混合林 2,621.15 公頃、闊葉林 2,379.07 公頃或是竹林 1,259.72 公頃，方可抵銷由於長途海運所排放的溫室氣體（見表 12）。

表 12 抵銷 2014 年進口蘋果碳排放所需造林面積

單位：公頃

林種 \ 國別	美國	智利	日本	紐西蘭	合計
針葉林	961.10	1,625.11	69.56	306.15	2,961.92
針闊葉混合林	850.52	1,438.14	61.56	270.93	2,621.15
闊葉林	771.97	1,305.32	55.87	245.91	2,379.07
竹林	408.76	691.17	29.59	130.21	1,259.72

資料來源：同表 9。

## 4. 結論

本研究發現光是 2014 年，台灣利用長途海運自美國、智利、日本、紐西蘭進口蘋果排放了溫室氣體，全年度就達 43,034 公噸的二氧化碳當量。若想以資助風力發電項目來抵銷全台灣在 2014 年以海運進口蘋果所造成的額外碳排放，需花費新台幣 48,456,284 元；資助水力及生質能發電需要 13,813,914 元；資助植樹造林活動需要 27,670,862 元。

這意味著本國消費者若能以國內蘋果來替代消費國外進口蘋果，每年將可減少 43,034 公噸的二氧化碳當量的溫室氣體排放。亦無須以資助風力發電、水力及生質能發電或資助植樹造林活動來抵銷全台灣在 2014 年以海運進口蘋果所造成的額外碳排放。

此外，若想透過造林運動來抵銷溫室氣體排放，則 2014 年度因海運進口蘋果所排放的溫室氣體須種植 2,961.92 公頃的針葉林、或 2,621.15 公頃的針闊葉混和林、或 2,379.07 公頃的闊葉林、亦或 1,259.72 公頃的竹林。

基於本研究的結果發現消費者選擇低碳、當季、當地的農產品，或選擇進口農產品對碳排放量的差異大小具有顯著的影響。因此本文建議，政府在政策上應（一）、借助教育宣導，讓國人知道哪些產品屬高碳食物，哪些產品屬低碳食物；（二）、透過政策誘因，使得企業樂於生產或銷售低碳食品，並從中獲取利潤；（三）、透過政策誘因，鼓勵農民生產適地適種合乎台灣亞熱帶氣候的農產品；（四）、鼓勵消費者購買低碳食物，並多選用當季、當地的農產品來替代需要進口或儲藏的進口農產品。

過去，貿易國在進口商品上，為了保護自己國內的產業發展，往往祭出各種高關稅的手段來提高進口商品的價格，以鼓勵本國消費者多消費自己國內的商品，在各國相繼加入 WTO 之後，高關稅的保護手段逐漸被要求放棄，如今從環境保護降低碳排放的角度來看，高關稅的手段似乎可以轉換成對進口商品課徵高碳排放稅，如此，不但可以多鼓勵消費者選擇低碳、當季、當地的農產品，亦不會違反 WTO 自由貿易的精神。

## 參考文獻

- 行政院環保署 (2015), 《2015 年中華民國國家溫室氣體清冊報告》。  
[www.unfccc.saveoursky.org.tw/2015nir/](http://www.unfccc.saveoursky.org.tw/2015nir/)。
- 財政部關務署 (2014), 《財政部關務署統計資料庫查詢系統》。<https://portal.sw.nat.gov.tw/APGA/GA03>。
- 陽明海運股份有限公司 (2015), 「貨櫃規格明細」。[https://www.yangming.com/traditional\\_chinese/ASP/service/service\\_network/container\\_equipment.asp](https://www.yangming.com/traditional_chinese/ASP/service/service_network/container_equipment.asp)。
- Benders, R. M. J., H. C. Moll, and D. S. Nijdam (2012), “From Energy to Environmental Analysis,” *Journal of Industrial Ecology*, 16(2), 163-175.
- Bernstein, L., P. Bosch, O. Canziani, Z. Chen, R. Christ, O. Davidson, W. Hare, S. Huq, D. Karoly, and V. Kattsov (2008), *Climate Change 2007: Synthesis Report: An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva, Switzerland: IPCC Press.
- Carbon Care Asia (2015), [http://www.carboncareasia.com/chi/our\\_services/offsets/projects.php](http://www.carboncareasia.com/chi/our_services/offsets/projects.php).
- Edwards-Jones, G., K. Plassmann, E. H. York, B. Hounsome, D. L. Jones, and C. L. Milai (2009), “Vulnerability of Exporting Nations to the Development of a Carbon Label in the United Kingdom,” *Environmental Science and Policy*, 12(4), 479-490.
- Finkbeiner, M., A. Inaba, R. B. H. Tan, K. Christiansen, and H. J. Klüppel (2006), “The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044,” *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(2), 80-85.
- Hassard, H. A., M. H. Couch, T. Techa-Erawan, and B. C. McLellan (2014), “Product Carbon Footprint and Energy Analysis of Alternative Coffee Products in Japan,” *Journal of Cleaner Production*, 73, 310-321.

- Hertwich, E. G. and G. P. Peters (2009), “Carbon Footprint of Nations: A Global, Trade-Linked Analysis,” *Journal of Environmental Science & Technology*, 43, 6414-6420.
- IPCC (2013), *Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Iriarte, A., M. G. Almeida, and P. Villalobos (2013), “Carbon Footprint of Premium Quality Export Bananas: Case Study in Ecuador, the World’s Largest Exporter,” *Science of the Total Environment*, 472, 1082-1088.
- Kemp, K., A. Inch, D. K. Holdsworth, and J. G. Knight (2010), “Food Miles: Do UK Consumers Actually Care?,” *Food Policy*, 35, 504-513.
- Kenny, T. and N. F. Gray (2009), “Comparative Performance of Six Carbon Footprint Models for Use in Ireland,” *Environmental Impact Assessment Review*, 29, 1-6.
- Lovell, H. C. (2010), “Governing the Carbon Offset Market,” *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1, 353-362.
- Muradov, N. Z. and T. N. Veziroğlu (2008), “Green Path from Fossil-Based to Hydrogen Economy: An Overview of Carbon-Neutral Technologies,” *International Journal of Hydrogen Energy*, 33, 6804-6839.
- NOAA (2016), *State of the Climate: Global Analysis for Annual 2015*. <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201513>.
- Paxton, A. (1994), *The Food Miles Report: The Dangers of Long-Distance Food Transport*, Charlotte, NC : The Sustainable Agriculture, Food and Environment (S.A.F.E.) Alliance Press.
- Robertson, K., M. Garnham, and W. Symes (2014), “Life Cycle Carbon Footprint of the Packaging and Transport of New Zealand Kiwifruit,” *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19, 1693-1704.
- Laura, R., A. Elbehri, and A. Hospido (2014), “Carbon Footprint Along the Ecuadorian Banana Supply Chain: Methodological Improvements and

Calculation Tool,” in R. Schenck and D. Huizenga, (ed.), *Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector*, 1129-1138, San Francisco, USA : American Center for Life Cycle Assessment Press.

SeaRates (2015), <http://www.searates.com/>.

Tukker, A., G. Huppes, J. Guinee, R. Heijungs, A. Koning, L. Oers, S. Suh, T. Geerken, M. van Holderbeke, B. Jansen, and P. Nielsen (2006), *Environmental Impact of Products (EIPRO): Analysis of the Life Cycle Environmental Impacts Related to the Final Consumption of the EU-25*. [http://ec.europa.eu/environment/ipp/pdf/eipro\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/ipp/pdf/eipro_report.pdf).

Wiedmann, T. and J. Minx (2007), “A Definition of Carbon Footprint,” *Ecological Economical Resource Trends*, 2, 55-65.

Zhongyue, X., D. W. Sun, X. A. Zeng, D. Liu, and H. Pu (2015), “Research Developments in Methods to Reduce the Carbon Footprint of the Food System: A Review,” *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55, 1270-1286.

# An Analysis of the Carbon Footprint from Long Distance Food Transportation: Case of the Imported Apple in Taiwan

**Shan-Non Chin**\*

Institute of Economics, National Sun Yat-Sen University

**Yi-Chen Su**

Institute of Economics, National Sun Yat-Sen University

**Keywords:** Global warming, Carbon dioxide equivalent, Carbon footprint, Carbon offsets, Carbon neutral, Carbon tax

**JEL classification:** Q22, Q27, Q57

---

\* Correspondence: Shan-Non Chin, Institute of Economics, National Sun Yat-Sen University. Address: 70, Lianhai Rd., Gwhan Dist., Kaohsiung City 804, Taiwan. Tel: +886-7-5252000 ext. 5752; Email: shannon@mail.nsysu.edu.tw. The author is indebted to the two anonymous referees for their helpful comments. All errors in this paper are the sole responsibility of the authors.

## Abstract

This research paper will focus on food carbon foot print with apple as an example. Taiwan has a variety of different fruits but apples are still mainly imported from overseas to satisfy local demand. The impact of imported versus local produced apples towards the environment will be therefore analyzed based on ISO 14040 and PAS 2050. One kilogram apples from Chile are causing 450 grams of CO<sub>2</sub>e. In 2014, 130,000 tones were imported and had produced 43,034 metric tons of CO<sub>2</sub>e. It cost approximately NTD \$ 48,456,284 to carbon offset through wind power.

Reducing emissions by planting trees to offset greenhouse gas emissions, 2,962 hectares of conifer plantation or 2,379 hectares of broadleaf forest are needed. Additionally no technology is so far available to reduce carbon emissions effectively. Instead, Government uses carbon tax to induce consumer consuming low-carbon and local produced food should be one of the solutions.