

漫談農產品碳足跡與資訊揭露 對消費者購買決策之影響

農業推廣科 助理研究員 李宗樺 分機 422

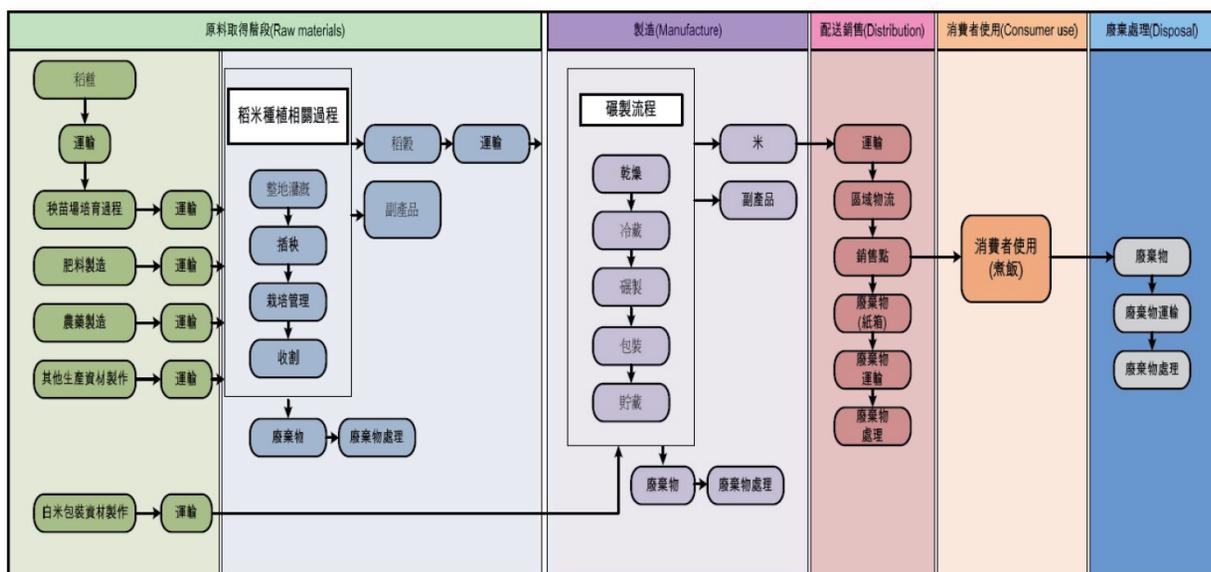
前言

凡走過必留下痕跡。這句話不僅適用於我們的人生，也適用於描述存在於地球上的所有個體、組織、產品或活動對氣候變遷造成的衝擊。舉凡那些能滿足我們食、衣、住、行、育、樂的每一件產品，從原料取得、製造、運輸銷售、使用到最終的廢棄，整個生命週期(Life Cycle)都會間接或直接排放溫室氣體至環境中，而這些溫室氣體，就是我們在地球上留下的碳足跡(Carbon Footprint)。生產者揭露產品碳足跡主要有以下四個主要目的：(1)製程改善：改善生產過程中的溫室氣體排放量最大的地方(在環境工程學中常被稱之為「熱點」)，提升能源與資源利用效率，作為進行碳排管理的工具；(2)客戶端要求：上、下游的客戶端可能基於貿易規範或因應自身永續發展，要求揭露商品或原料的碳足跡，以滿足利益關係人需求；(3)綠色消費與綠色採購：隨著環保意識抬頭，越來越多消費者意識到消費行為對形塑世界的影響力，生產者可透過揭露產品碳足跡，滿足市場對於低碳、永續等綠色消費與採購的需求；(4)企業永續發展：企業社會責任過程中，對環境永續的實踐所需，滿足企業自身綠色競爭導向的趨勢。對農業生產者來說，最關心的可能是為什麼要盤查產品碳足跡以及揭露這些資訊有甚麼作用？農民針對農產品進行碳足跡盤

查並揭露產品碳足跡，可瞭解產品生命週期中的碳排熱點(如因過量氮肥施用造成之碳排等)，並著手進行改善，是進行碳管理的第一步。在另外一方面，低碳的農產品，亦能獲取市場上重視環保的消費者青睞，願意付出更高的價格購買低碳農產品，使農產品有更高的願付價格，增加收益。已有許多研究指出，對環保持有信念(Environmental Beliefs)的消費者，對於低碳農產品的購買意願及願付價格溢價(Price Premium)較高，然而這取決於消費者是否能判斷產品標榜的資訊真實性，而產品碳足跡標籤則能彌補生產者與消費者之間資訊不對稱的問題。故本文將分成兩部分，第一部分以申請產品碳標籤為目標，簡要介紹產品碳足跡及其量化方法，讓讀者對產品碳足跡盤查有大致輪廓，第二部分則聚焦分析碳足跡資訊揭露對於生產者與消費者決策之影響及利弊，並試圖從相關推論中提出揭露產品碳足跡在農業推廣與行銷之意涵以供生產者參考。

介紹產品碳足跡前你要知道的背景知識

產品碳足跡是產品生命週期各階段產生直接及間接之溫室氣體排放量總和。由於不同溫室氣體(如甲烷、氧化亞氮等)對暖化效應的影響效果不同，政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)會在定期評估報告



▲ 圖 1. 米生命週期流程圖。(資料來源：米產品 PCR 第 4.0 版，環境部碳足跡資訊網)

中公佈最新的暖化潛勢(Global Warming Potential, GWP)，如第5次評估報告(AR5)將二氧化碳訂為1，甲烷為28、氧化亞氮為265，如此一來則可將不同種類的溫室氣體換算成二氧化碳當量(CO₂e)統一表示，以利進行比較。另外，為了使相同功能產品之碳足跡具有一致性的比較基礎，可尋找適用目標產品的產品類別規則 (Product Category Rules, PCR) 進行適用，並且可以在環境部產品碳足跡資訊網¹中找到，以農產品來說，目前有米、雜糧及蔬菜、生鮮水果、茶葉等許多PCR可作為農產品生命週期範疇進行界定之作業程序文件。

產品碳足跡盤查與量化速覽

目前產品碳足跡分析廣泛採用的系統性方法為生命週期評估法(Life Cycle Analysis, LCA)，依據ISO 14067定義：

「生命週期評估法係指產品系統整個生命週期的投入、產出及潛在環境衝擊之彙整與評估」。實際操作大致可分為5個步驟：(1)目的與範疇界定；(2)盤查分析；(3)數據蒐集；(4)碳足跡計算；(5)數據品質評估。以下將簡要分述5個步驟的概念：

一、目的與範疇界定

進行產品碳足跡盤查時，首先必須先確定調查目的、系統邊界及功能單位。產品系統的邊界可依據PCR之規範，一般是應用生命週期評估法，將產品生命週期分成原料取得、製造、配送銷售、消費者使用及廢棄處理等5階段。以下將以米產品碳足跡為例，米生命週期流程如圖1。功能單位則是產品系統量化績效的參照單位，如每單位之重量，如1公斤之白米，若PCR另有規定則從其規定。最後則是需要瞭解與

¹ 環境部產品碳足跡資訊網<https://cfp-calculate.tw/>

清楚描述執行碳足跡計算時，因資訊缺乏造成的限制，以及為了克服限制所做出的假設，並將盤查資料文件化。

二、盤查分析

在正式進入數據收集前，需要瞭解盤查目標的製程地圖，如此才能確認有那些數據需要蒐集。以米產品(圖1)為例，米產品製程地圖包含：原料取得階段、製造、配送銷售、消費者使用、廢棄處理。原料取得階段包含稻米種植與運輸相關流程，盤查時須包含秧苗培育、生產肥料、生產農藥、整地灌溉、收割及運輸等相關流程，較簡單的理解方式為只要需要花錢購買的物質，皆應納入盤查。製造階段則包含碾製、廢棄物處理、能源與資源消耗及貯藏，若有冷藏或空調所產生之冷媒散逸，亦須列入盤查。運銷配送階段則計算產品運輸至區域物流、銷售點之距離。使用階段則因資訊缺乏，而涉及情境假設，可依照國人烹煮米飯習慣，考量洗米用水、炊具能源消耗或實際烹調習慣設定情境。廢棄處理則依實際情況考量，如回收率、廢棄物運送至掩埋、焚化爐之處理。

三、數據蒐集

關於數據蒐集，需要注意蒐集期間與數據分配及數據取得方式。以下分別簡要說明相關原則。

1. 蒐集期間：應盡量蒐集平均的數值，以米為例，蒐集期間以2個期作，即一年為基準，若非使用完整一年或最近一年的數據，則需要確認正確性。
2. 數據分配：以米為例，生產者一整年的資源投入，必須分配至兩期作中，而分

配方式可依兩期作的產量、進料量、重量、工時等物理性質進行數學分配，分配時須注意分配方式的合理性。另外，使用經濟價值做分配，如依據採購單據金額估計投入的物料量時，因為物料價格會有波動，可能會增加活動數據不確定性，須多加留意。

3. 數據取得方式：數據取得的方式會影響數據品質。一般常用的方法是直接測量、將資源消耗分配至各產品、質量平衡法、政府、官方公布的數據或資料庫等。

四、碳足跡計算

將活動數據蒐集完成後，則可用於計算碳足跡，一般使用排放係數法。排放係數是衡量特定產品或活動所釋放的二氧化碳量的單位。例如依據「環境部產品碳足跡資訊網」，硝酸銨鈣(肥料用)每公斤排放係數是1.80公斤二氧化碳當量(kgCO₂e)，使用量為2公斤，則碳排放量為： $2 \times 1.80 = 3.60$ 公斤二氧化碳當量(kgCO₂e)。碳足跡計算公式如式1，把所有使用項目的活動數據乘以對應的排放係數並加總，即可得到產品碳足跡。目前環境部產品碳足跡資訊網有提供免費係數可供使用，若欲查詢的係數在該資料庫無法取得，可透過檢索碳標籤、其他公開或付費的資料庫係數來源取得。

$$\text{碳足跡} = \text{活動數據} \times \text{排放係數} \dots (\text{式1})$$

五、數據品質評估

計算碳足跡時，亦應同時注意數據品

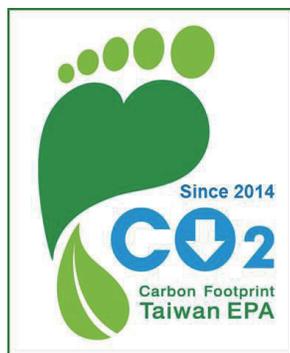
質。在PCR中常會針對目標產品特別說明活動數據蒐集方法與要求，數據品質分級上，一般將數據分為特定場址直接測量的「一級數據」，自活動取得基於直接測量的數據亦為一級數據，透過推估，無法滿足一級數據要求之數據則稱為次級數據。數據品質良窳則常依據數據的蒐集時間範圍(例：1年內優於2年內)、地理涵蓋範圍(例：實際地理位置優於國家平均資料)、技術範圍(例：實際工廠優於不同工廠相同技術)、精確性(例：實際連續測量值優於估算值)等標準。

碳足跡資訊揭露

碳足跡辛苦計算完成後，常透過第三方查證公司或申請環境部的關鍵性審查，以取得查證證書或聲明書，並可據以向環境部申請碳標籤(如圖2)。另外，為了鼓勵生產者不僅揭示產品的碳排放資訊，還要透過改進產品本身、製程和供應鏈，尋找減少溫室氣體排放的機會，甚至重新評估產品的設計，我國自103年起推動了減碳標籤(圖3)。可作為消費者採購的參考依據。



▲ 圖 2. 碳標籤。(資料來源：環境部碳足跡資訊網)



▲ 圖 3. 減碳標籤。(資料來源：環境部碳足跡資訊網)

從碳足跡資訊揭露看生產者與消費者之間的賽局

知道如何計算產品碳足跡後，農友一定想知道，揭露這項資訊，對於生產者與消費者之間會產生甚麼影響？已有許多消費者研究發現，對環境保護持有信念的消費者對於環境友善的產品，在相同功能、品質的條件下，會更願意付出較高的溢價 (premium) 購買，然而這種消費決策，常取決於消費者是否擁有足夠資訊得以判斷產品的真實性。在資訊不對稱的情況下，生產者是否有誘因生產低碳農產品，或是消費者是否有意願購買，促成這些決策的資訊條件，是大家所關心的。在此我們可以把生產者與消費者之間的互動視為成一場不完美資訊賽局 (imperfect information game)，彼此的選擇都會影響對方，但都有許多資訊無法掌握，而這些無法掌握的資訊，就是源於產品資訊揭露度不足所致。由於討論賽局理論並非本文目的，故對於相關理論背景不多贅述，本文將僅用淺顯與精簡的正則形式 (normal form game) 分析市場上若存在高度資訊不對稱的狀況下，生產者與消費者的優勢決策會是甚麼，以及可能造成的影響。

產品資訊揭露如何影響生產者與消費者的決策？

為簡化分析我們必須先設定一下情境。首先假設市場上有低碳農產品與一般農產品兩種產品，兩者品質一樣，從外觀上無從分辨，且市場上所有人對低碳農產品共同認知為高價，一般農產品為低價。對生產者來說，生產低碳農產品成本為 w ，

收益為 m ，而生產一般農產品成本為 v ，收益為 b ，雖然低碳農產品要付出額外成本(如執行碳盤查、低碳栽培的操作承受產量風險等)，但同時也可以較高價格販售，故 $m \geq w$ 且 $b \geq v$ 。從前述設定可知，對消費者而言，購買低碳農產品的成本為 m ，購買一般農產品的成本則為 b ；然而，消費者購買低碳農產品時，除了會獲得的價值有產品營養價值 c 及滿足環保信念帶來的效用 a ，購買一般農產品時，因為我們假設兩種產品品質一樣，所以僅帶來產品營養價值 c 。購買低碳農產品時，消費者獲得的報酬可以表示為 $a+c-m$ 。在沒有碳標籤揭露產品碳足跡資訊的市場中，因為資訊不對稱，消費者無從分辨低碳農產品與一般農產品，假設市面上真實低碳農產品的機率為 α ，一般農產品則為 $1-\alpha$ ，而生產者高價販售的機率是 β ，低價格販售則是 $1-\beta$ ，生產者與消費者對 α 及 β 抱持相同的判斷。在採取的行動方面，生產者有「不誠實販售」與「誠實販售」兩種行動，誠實販售係依據產品性質進行定價，即低碳農產品訂定高價格，一般農產品訂定低價；而不誠實販售則是將一般農產品標榜為低碳農產品以高價販售；而消費者有「購買」、「不

購買」兩種行動，整體策略集合則可以用一個 2×2 的矩陣表達(如表1)。若花費高價購買低碳農產品，卻因為生產者不誠實而用高價購買，則消費者感受到受騙的損失為 p ，故受騙消費者的報酬則為 $a+c-m-p$ 。考量市場上低碳農產品的機率以及以高價或低價的比率，我們可以計算市場中生產者與消費者的期望報酬如下表1，欄位中第一列為生產者期望報酬，第二列為消費者期望報酬。

從表1我們可以觀察到，對消費者而言，若選擇購買是優勢策略，則購買的期望報酬需至少不低於不購買的報酬，即 $\alpha(a+c-m)+(1-\alpha)\beta(a+c-m-p) \geq 0$ 且 $\alpha(a+c-m)+(1-\alpha)(1-\beta)(c-b) \geq 0$ ，從這個不等式中，在其他條件不變下，我們可以觀察到若 a 越大，即消費者對環保的信念越強烈，購買的傾向越大，而 β 越高，由於消費者擔心受騙的損失 p ，則消費者會傾向購買的可能則降低。對生產者而言，若誠實販售的期望報酬皆不低於不誠實販售，即 $\alpha(m-w)+(1-\alpha)(1-\beta)(b-v) \geq \alpha(m-w)+(1-\alpha)\beta(m-v)$ 且 $-\alpha w-(1-\alpha)(1-\beta)v \geq -\alpha w-(1-\alpha)\beta v$ 成立時，透過代數整理得到 $\beta \geq 0.5$ 或 $\beta \leq (b-v)/(m+b-2v)$ ，意味著不論產品為一般產品或是低碳

表 1. 生產者與消費者預期報酬矩陣

		消費者	
		購買	不購買
生產者	不誠實販售	$\alpha(m-w)+(1-\alpha)\beta(m-v),$ $\alpha(a+c-m)+(1-\alpha)\beta(a+c-m-p)$	$-\alpha w-(1-\alpha)\beta v,$ 0
	誠實販售	$\alpha(m-w)+(1-\alpha)(1-\beta)(b-v),$ $\alpha(a+c-m)+(1-\alpha)(1-\beta)(c-b)$	$-\alpha w-(1-\alpha)(1-\beta)v,$ 0

農產品(即此時不管 α 值為何)，只要市場上高價販售的機率大於等於0.5或小於等於 $(b-v)/(m+b-2v)$ 則誠實販售是生產者的優勢策略。基於上述這個情境，我們可以做出以下的假設陳述：在資訊不對稱的市場中，若消費者環保信念越高，則傾向購買低碳農產品，但若市場充斥高價格的農產品，消費者會因為無法分辨產品真實性，擔心受騙的損失，購買傾向則會降低；價格越高生產者會傾向誠實販售，然生產者誠實販售較高價的低碳農產品卻無法提高收益，因此亦可能會傾向不生產低碳農業產品。換句話說，資訊揭露不足，可能會使市場上無低碳農產品供消費者選購，無法滿足消費者環保信念，而生產者選擇不生產低碳農產品，亦無法為溫室氣體減量做出貢獻，造成環境負擔，如此循環最後可能造成消費者、生產者與環境皆輸局面。

結論

農產品市場結構近似完全競爭市場，亦即市場價格往往由供給與需求之數量所決定，生產者多半只能被動接受市場價格。農產品售價不僅經常無法反應生產成本，更遑論追求超額報酬。因此，如何創造產品差異性，獲取更多的利潤，一直是農產行銷上很重要的課題。在另外一方面，隨著環保意識興起，消費者逐漸意識到，每一次購物的選擇，同時也在釋放訊息告訴生產者應該如何對待環境，間接影響了環境，因此，對於友善、永續及環保的產品，有越來越高的需求，消費者也願意付出更高的代價購買，這可能是生產者創造產品差異的契機與角度之一。在上述

假設成立的前提下，消費者是否有足夠資訊判斷產品是否為真實的，以及生產者是否能從生產低碳農產品中獲益，可能取決於產品碳足跡的揭露程度與民眾是否對於低碳產品有較高的願付溢價，碳足跡揭露可以透過普及產品碳足跡標籤，而基於環境信念的願付溢價則有賴研究人員進行消費者研究估計。另外，我國目前正積極推動重要農產品碳足跡揭露，農民可以自主盤查檢視產品生命週期中的碳排放熱點，進一步著手改善，相關盤查文件與佐證資料，經過第三方查證後，亦可用於申請產品碳足跡標籤。在一群品質、功能同質性相近的農產品中，若能揭露其產品生命週期對環境衝擊供消費者選購時參考，將可促進消費者對產品的認知價值，提升願付價格，亦能鼓勵生產者進行低碳技術的採用與農產品生產，逐步完善綠色低碳農產品的供應鏈體系，達到生產者、消費者與環境三贏的目標。

參考資料

1. 環境部產品碳足跡資訊網<https://cfp-calculate.tw/>
2. 樊沁萍 (2023)。賽局理論。臺北市：雙葉書廊。
3. Zhong, S., & Chen, J.(2019). How environmental beliefs affect consumer willingness to pay for the greenness premium of low-carbon agricultural products in China: Theoretical model and survey-based evidence. *Sustainability*, 11(3), 592.