

# 水稻桃園 3 號米產品碳足跡初探-以桃園市 A 農場 盤查個案為例<sup>1</sup>

李宗樺<sup>2</sup>

## 摘 要

本研究以本場轄區內主要種植水稻品種桃園 3 號米產品為標的，擇定一業者，應用生命週期評估法，進行碳足跡盤查，目的為藉由盤查結果，分析產品生產過程中之碳排熱點，並提出減碳策略與建議。結果顯示，本研究目標產品 2 公斤包裝桃園 3 號米產品，其碳足跡為 2.3305 公斤 CO<sub>2</sub>eq。其中原物料階段約佔 77.69%、製造階段佔 18.14%、運送販賣 0.20%、使用佔 3.64%及廢棄 0.33%。依據碳排熱點分析結果，本研究建議生產者可朝向間歇性灌溉改善水分管理、在不影響產量的前提下，轉向低整地或不整地的栽培模式，並考慮使用電動農機，以減少柴油燃料的依賴、合理化施肥。另外，若改種植適合有機及友善或抗病性更強的新品種，如水稻‘桃園 6 號’或‘桃園 7 號’，對減少產品碳足跡的效益，未來值得進一步透過盤查並探討。

關鍵詞：農業淨零、減碳策略、生命週期評估

## 前 言

依據中華民國國家溫室氣體排放清冊報告（環境部，2022），水稻種植佔農業部門溫室氣體排放源約 18.00%，顯示水稻單一作物種植過程排放的溫室氣體，佔比不容忽視。產品碳足跡資訊揭露，對不同利害關係人（如投資人、生產者、消費者、供應鏈夥伴）有不同的意義與使用情境，對生產者而言，生產者若要進行內部碳管理時，第一件事可從產品碳足跡盤查做起，盤查產品碳足跡可以讓生產者掌握碳排放量較大的生產製程（即環境工程學中所謂的“熱點”），進而研擬改善對策，這對具有規模的農企業更顯重要，因為揭露產品碳足跡表示農企業面對氣候變遷願意做一個負責任的

---

<sup>1</sup> 行政院農業委員會桃園區農業改良場研究彙報第 551 號。

<sup>2</sup> 桃園區農業改良場助理研究員(通訊作者，thlee@tydais.gov.tw)。

生產者，如此一來可強化產品在利害關係人中的社會形象，特別是環境永續的議題上的信賴，更重要的是，碳排熱點經常源於無效率的生產活動，例如無謂的能源與資源投入造成之浪費，生產者透過檢討熱點，不僅能減少碳排，更有可能減少能源與資源的成本支出，增加利潤空間，一舉數得。在另一方面，產品若揭露其碳排資訊，還可讓具有環保意識的消費者瞭解自己的消費選擇將對環境造成多少衝擊與影響，提供一個數量化的指標，對生產者來說，亦是為產品增值，提升消費者願付綠色溢價的行銷策略之一。由此可知，透過揭露碳足跡資訊，減少生產者與消費者之間的資訊不對稱，進而達到消費者、生產者及環境三贏的局面，目前已有各國研究發現消費者對於低碳足跡綠色食品有較高的願付溢價（Denver *et al.*, 2023；Feucht and Zander, 2017；Zhong and Chen, 2019）。然而，目前產品碳足跡盤查或相關研究多以工業製程之產品為主，鮮少著墨於糧食農作物等產品。基於此，本研究針對北部地區重要的農產品-米，選定桃園市大園區一家農場所生產之 2 公斤包裝米產品（水稻品種為桃園 3 號），進行碳足跡盤查，探討其產品週期中碳足跡之形成，並成為未來相關減碳策略及排放熱點與減量技術發掘的參考基盤資料，進而提出減碳的策略建議。

碳足跡盤查通常會使用二氧化碳當量（carbon dioxide equivalent，以下記為 CO<sub>2</sub>eq）來衡量不同溫室氣體對全球暖化的貢獻，以做為比較基礎（Wiedmann and Minx, 2008）。Xu 等（2013）應用生命週期評估法，比較中國五個省份米產品碳足跡，建議降低尿素施用及利用間歇性灌溉可降低碳排放。Zhang 等（2021）運用生命週期評估法與監測試驗，計算湖北省生產稻米碳足跡，結果顯示每公斤白米排放 4.19-6.81 公斤 CO<sub>2</sub>eq，並發現整體生命週期中有 60% 碳排放來自田間直接排放。Wassmann 等（2021）盤查菲律賓水稻栽培碳排放，並應用情境假設進行敏感性分析，建議改善灌溉方式最高可能降低 27.4% 的碳排，若能充分提升產量潛能增加產量，並透過管理減少耗損（如降低病蟲害等），將能達到 37.3% 減碳效益。Kashyap 和 Agarwal（2021）調查印度旁遮普省生產之稻米碳足跡，結果發現每公斤稻米約排放 1.20 ± 0.70 公斤 CO<sub>2</sub>eq，並發現土壤甲烷直接排放、殘體焚燒為主要碳排放來源，此外大農場因能資源利用效率較高，碳排放量亦比小農場低。國內亦有部分米產品已申請碳足跡標籤及減碳標籤（環境部，2024）。行健有機胚芽米（600 g），其品種為‘高雄 145 號’，每包 0.6 公斤包裝白米碳排 0.9 公斤 CO<sub>2</sub>eq，其中原料取得佔 30.62%、製造佔 28.21%、配送銷售佔 0.55%、使用佔 39.85%、廢棄處理佔 0.77%。並針對產品碳排熱點提出相關減碳對策，如實行源頭管理，加強田間管理制度，管控肥料用量，預計降低整體碳排放量 0.5%、

提升製程設備效率，汰換冷凍冷藏庫設備，預計降低整體碳排放量 2.5%，並預計於 5 年內減少 3% 的碳排放量。每包 2 公斤包裝之‘御皇米臺梗 4 號’芋香米，碳排放量 4.5 公斤 CO<sub>2</sub>eq，其中原料取得佔 75.95%、製造佔 9.37%、配送銷售佔 0.06%、使用佔 14.44%、廢棄處理則佔 0.18%。生產者依據碳排結果，提出之減碳對策有：（1）推動溯源管理，透過生產履歷管理及資材共同採購，紀錄契作農民肥料與農藥施作量，並控管施肥及用藥；（2）加強契作農民教育訓練及區外觀摩，提升農民認知；（3）稻穀收購檢驗分級，落實溯源管理，並提升製程設備效率。

## 材料與方法

### 一、產品碳足跡量化原則

基於生命週期評估計算產品碳足跡的方法，受到普遍採用，國際上也有 ISO 14067：2018 的系列標準，作為碳足跡盤查與量化計算的指引做為參考（Wu *et al.*, 2015）。本研究依循 ISO 14067：2018 產品碳足跡有 11 項運作原則，並綜合簡述如下：

- (1) 生命週期觀點：產品碳足跡需考量產品整體生命週期，包括原物料取得、設計、生產製造、運輸或配輸、使用和廢棄處理。
- (2) 相對性方法及功能單位：產品碳足跡是以功能單位或宣告單位為核心建構資訊，並計算此功能單位或宣告單位之結果。
- (3) 巡迴路徑法：當應用生命週期評估進行產品碳足跡盤查時，會使用巡迴路徑法不斷重新評估，提供報告結果之一致性。
- (4) 科學方法之優先性：自然科學（例：物理、化學、生物）優先於其他科學方法（例：社會學、經濟學），或與地域範疇有關的國際慣例優先於價值選擇。僅在不存在自然科學基礎，亦無法基於其他科學方法來解釋時，才使用價值選擇來作決策。
- (5) 相關性：應選擇適合用在產品系統的溫室氣體排放與移除之評估。
- (6) 完整性：盤查時須納入有顯著貢獻的所有溫室氣體排放量與移除量。顯著貢獻則是由截斷準則判定。
- (7) 一致性：盤查過程中應使用一致的假設、方法與數據，以符合目標與範圍界定之結論。

- (8) 一貫性：應用以被國際認可且是用產品類別之方法學、標準與指引文件，以提升產品碳足跡在特定產品類別間的可比較性。
- (9) 準確性：產品碳足跡之量化資料應該準確、可查證、具相關性且不能誤導，並盡可能依據實務減少偏誤與不確定性。
- (10) 透明度：以公開、全面及可理解的方式，描述與記載所有資訊。任何假設應予以揭露，引用的方法、來源皆須註明，並說明清楚估算方式，並避免偏誤。
- (11) 避免重複計算：應避免於產品系統內重複計算溫室氣體排放量與移除量。

對於同類型產品，若要能夠有共同比較的基礎，符合上述一貫性原則，則可依據環境部公告之產品類別規則（Product Category Rules，以下簡稱 PCR），分析並確認產品生命週期，系統邊界、盤查標的之功能單位、決定單元、過程範疇、供應鏈分析，建立製程地圖、確認製程地圖中每個單元之能源與資源投入、調查排放源，作為活動數據搜集與盤查依據。

本研究首先引用環境部公告碳足跡產品類別規則（CFP-PCR）米（Rice）V4.0 版（環境部，2024），適用產品類別以製造商品分類號列（CCC Code）歸類於：1006.30.00.90-7 其他半碾或全碾白米，不論是否磨光、1006.20.00.00-8 糙米、1006.30.00.10-4 糯米，故本研究盤查標的適用。本研究基於此分析目標產品-‘桃園 3 號’米產品，生命週期中原料取得階段、製造、配送銷售、消費者使用、廢棄處理五大階段之活動數據計算碳足跡，並繪製生命週期流程圖（圖 1）。

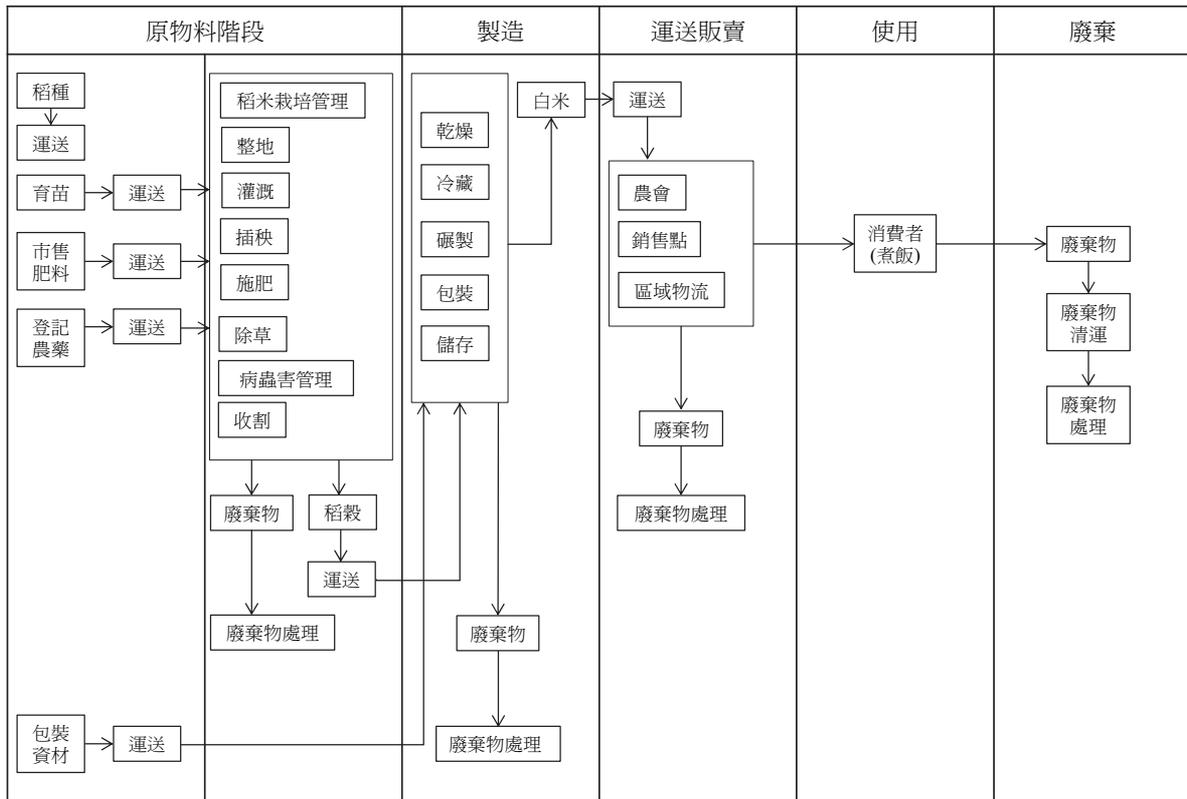


圖 1. 本研究盤查標的‘桃園 3 號’米產品生命週期流程圖

Fig. 1. Life cycle analysis of rice cultivar Taoyuan No.3 product.

## 二、計算方法

產品碳足跡計算係採用排放係數法為主，排放係數法係指利用原（物）料、燃料之使用量或產品產量等數值乘上特定之排放係數，計算排放量之方法。計算公式如下：

$$\text{碳足跡 (單位: CO}_2\text{eq)} = \sum_i^n \text{活動數據}_i \times \text{排放係數}_i \times \text{GWP}_i$$

其中*i*表示第*i*個使用項目，若引用的排放係數未換算成二氧化碳當量，則須乘以全球暖化潛勢 (global warming potential，以下簡稱 GWP 值) 進行換算，GWP 值是一個衡量溫室氣體對全球暖化的總貢獻的指標，通常以給定時間內相對於二氧化碳的貢獻來進行比較，由 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 公布 (IPCC, 2003)。GWP 值用於比較不同溫室氣體的暖化潛力，其中二氧化碳被視為參考氣體，其 GWP 值為 1。本研究係依據第 4 次評估報告 (IPCC Fourth Assessment Report)，GWP 百年平均值，作為計算溫室氣體當量之基礎。

### 三、應用假設

本研究於使用情境進行假設，烹煮 1 包 2 公斤包裝，參考國內常見電子鍋-TATUNG 大同 6 人份不鏽鋼內鍋電鍋（型號 TAC-06L-DR），功率 600W（約 0.6 千瓦小時），設定烹煮情境，假設水及電力用量如下：

- (1) 洗米：洗米 1 杯（150 克），用水量約 1.5 公升。
- (2) 煮米：煮米 1 杯（150 克），用水量 0.18 公升。
- (3) 電鍋煮飯：電子鍋用電量 0.6 千瓦小時，每次煮飯時間約 30 分鐘。

針對冷媒排放量，計算本研究農場使用工業用冷藏設備冷媒排放量，參考 IPCC HFC-23 EMISSIONS FROM HCFC-22 PRODUCTION（IPCC，2003）排放因子 16.0，防治設備回收率 90%，計算方式如下：

冷媒逸散量 = 原始設備填充量 x 冷媒逸散率

冷媒逸散率 = 排放因子 x (1 - 防治設備回收率 x 防治設備使用率)

### 四、盤查流程

進行產品碳足跡盤查的首要事項即是與受盤對象進行溝通，增進彼此信任與瞭解受盤對象的決心，同時也必須依據產品的實際生命週期，在基於 PCR 的指引之下，重新製作製程地圖，才得以後續進行盤查，並確認製程地圖中每個生產單元資料的可取得性與佐證資料的完備性。本研究流程大致分為四個階段（表 1）。因受盤農場配合水旱輪作政策，僅於第一期作種植水稻，第二期種植甘藷等雜糧，故本研究以 2022 年第一期作桃園 3 號米產品碳足跡為調查標的。

表 1. 本研究流程

Table 1. Research process.

流程階段	農場工作項目	本場研究人員工作項目
準備階段	1. 盤查前溝通 2. 受盤廠商管理階層支持，並提供內部跨部門協助	1. 選定標的 2. 盤查產品生命週期評估
盤查階段	提供活動數據資料：單據、佐證資料、生產日誌，物料清單表、能源、資源投入紀錄	活動數據蒐集、數據品質管理
數據分析階段	-	1. 數據分配原則確認 2. 排放係數查找
完成階段	-	1. 碳足跡盤查報告 2. 提出減碳議題

## 結果與討論

### 一、產品組成與系統邊界

本研究盤查標的為每包 2 公斤包裝之‘桃園 3 號’米產品，真空包裝由低密度聚乙烯 (LDPE) 組成，約 23 克 (表 2)；內容物為水稻品種桃園 3 號，碾去糙米外之麩皮與胚芽之白米，主要用途為食用，臺灣主要糧食。系統邊界設定涵蓋標的產品原物料開採或製造、原物料運輸、產品製造、運送販賣及消費者使用階段之能資源消耗及廢棄物處理各階段。一般而言，對所分析之產品系統碳排有所貢獻的過程皆須納入。依據 ISO 14067 條文 6.3.4.3 之定義，如發現單一材料或能量對特定單元過程的碳足跡貢獻微不足道，應界定一致性的準則，則可將數據排除，並應於盤查報告中報告。本研究以環境部 2010 年 2 月 12 日公布之產品與服務碳足跡計算指引，建議以 1% 為截斷原則。本次盤查無排除項目。

表 2. 標的產品組成

Table 2. Composition of the target product.

標的產品	原料名稱	主要原料材質	重量(KG)	佔比(%)
桃園 3 號米產品 2 公斤	白米	米	2	98.86
	真空包裝袋	PE	0.023	1.14
	原料總重量		2.023	100

## 二、盤查結果

### (一) 基礎生產資料

依據農場產銷履歷系統生產日誌，計有 43 筆耕地種植桃園 3 號，栽培面積 13.2056 公頃，製作農戶總栽培面積：28.3690 公頃，若以栽培面積進行活動數據分配，則種植桃園 3 號面積佔 46.55%。桃園 3 號總產量 64,808 公斤，其他產品桃園 5 號 5,100 公斤；台南 11 號 33,736 公斤；命の壺 9,950 公斤；台中秈 197 號 2,166 公斤；台梗 14 號 6,757，若活動數據以重量進行分配，則標的產品佔 44.84%。

### (二) 數據取得情形及盤查結果

本研究整理歸納盤查數據取得情形及排放係數來源說明（表 3）。活動數據來源主要為生產者產銷履歷生產日誌、臺灣電力公司帳單，運輸距離以 Google Map 計算運輸距離。電力、水、運輸等能資源排放係數查找來源主要以環境部產品碳足跡資訊網、國家溫室氣體排放清冊、Simapro 9.4 資料庫，以及國際間經同儕審查之相關研究期刊。本研究目標產品為 2 公斤包裝‘桃園 3 號’米產品，其碳足跡為 2.3305 公斤 CO<sub>2</sub>eq。其中原物料階段碳足跡約 1.8105 公斤 CO<sub>2</sub>eq、製造階段約 0.4227 公斤 CO<sub>2</sub>eq、運送販賣階段約 0.0046 公斤 CO<sub>2</sub>eq、使用階段及廢棄各約 0.0849 公斤 CO<sub>2</sub>eq 及 0.0078 公斤 CO<sub>2</sub>eq。標的產品生命週期各階段碳足跡佔比分別為：原物料階段約佔 77.69%，製造階段佔 18.14%、運送販賣 0.20%、使用佔 3.64%及廢棄 0.33%（圖 2），顯示碳排熱點可能在原物料階段，若要進行減碳議題探討，以原物料階段為出發點效益較高。

表 3. 桃園 3 號米產品碳足跡排放量

Table 3. Carbon footprint of rice cultivar Taoyuan No.3 product.

生命週期 階段	排放源	活動數據	排放係數 (kgCO <sub>2</sub> eq)	總碳排 (CO <sub>2</sub> eq)	標示單位 (2kg)	排放係數 來源
原物料階 段	氮要素	3,063.6992	1.8000	5,514.6586	0.1702	環境部碳足 跡資訊網
	磷要素	2,007.2512	0.8470	1,700.1418	0.0525	環境部碳足 跡資訊網
	鉀要素	2,112.8960	0.6100	1,200.8666	0.0398	環境部碳足 跡資訊網
	田間甲烷排 放	13.2056	1,472.0000	19,438.6432	0.5999	2022 國家溫 室氣體排放 清冊
	田間氧化亞 氮排放	3,063.6992	0.8880	2,720.5649	0.0840	2022 國家溫 室氣體排放 清冊
	除草劑	75.2719	13.6900	1,030.4726	0.0318	Simapro 9.4 資料庫
	殺菌劑	434.8604	14.4100	6,226.3385	0.1934	Simapro 9.4 資料庫
	殺蟲劑	402.7708	10.2800	4,140.4838	0.1278	Simapro 9.4 資料庫
	包裝	745.2920	1.9000	1,416.0548	0.0437	環境部碳足 跡資訊網
	稻種	5,400.0000	0.8700	4,698.0000	0.1450	Brown <i>et al.</i> , (2005)
	原物料運輸	237.6786	0.1310	31.1359	0.0004	環境部碳足 跡資訊網
	柴油能源	2,876.1797	3.3400	9,606.4401	0.2965	環境部碳足 跡資訊網
	電力能源	105.0285	0.5900	61.9668	0.0010	環境部碳足 跡資訊網
	田間排放(掩 埋稻稈)	79,233.6000	0.0100	792.3360	0.0245	環境部碳足 跡資訊網

表 3. 桃園 3 號米產品碳足跡排放量 (續)

Table 3. Carbon footprint of rice cultivar Taoyuan No.3 product. (continued)

生命週期 階段	排放源	活動數據	排放係數 (kgCO <sub>2</sub> eq)	總碳排 (CO <sub>2</sub> eq)	標示單位 (2kg)	排放係數 來源
製造階段	烘乾用電	2,972.3001	0.5900	1,753.6571	0.0541	環境部碳足跡資訊網
	冷媒 R-22	2,720.0000	4.0000	10,880.0000	0.3358	環境部碳足跡資訊網
	冷藏庫用電	1,543.8305	0.5900	910.8600	0.0281	環境部碳足跡資訊網
	廢棄物處理	0.0297	340.0000	10.0980	0.0003	環境部碳足跡資訊網
	包裝用電	243.0300	0.5900	143.3877	0.0044	環境部碳足跡資訊網
運送販賣	產品運輸	857.6295	0.1310	112.3490	0.0040	環境部碳足跡資訊網
	紙箱廢棄物	0.0536	340.0000	18.2240	0.0006	環境部碳足跡資訊網
使用	電子鍋烹煮- 電	4,406.9440	0.5900	2,600.0970	0.0802	環境部碳足跡資訊網
	電子鍋烹煮- 水	648.0800	0.2330	151.0026	0.0047	環境部碳足跡資訊網
廢棄	包裝物至焚 化爐處理	0.7453	340.0000	253.3993	0.0078	環境部碳足跡資訊網

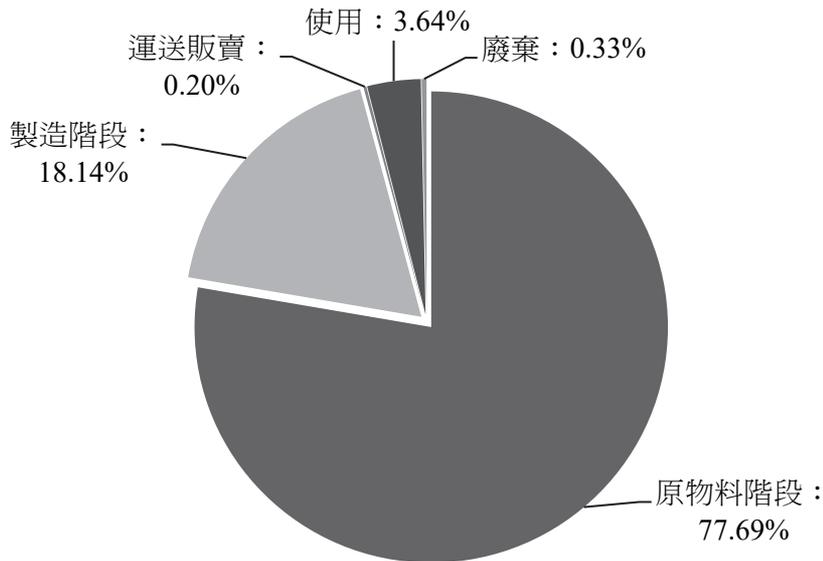


圖 2. 桃園 3 號米產品各階段碳足跡佔比

Fig. 2. Carbon footprint breakdown of rice cultivar Taoyuan No.3 product.

### (三) 一級與次級數據分析

生命週期各階段之數據皆有一級與次級數據採用建議。依環境部推動產品碳足跡管理要點之規定：「在產品或投入提供至另一個組織或末端使用者之前，若執行本規範之組織的排放貢獻未達其產品或投入之上游溫室氣體排放的 10% 以上，則一級活動數據之蒐集，應適用於累計貢獻達產品或投入之上游排放 10% 的組織與任何上游供應商，並自其所擁有、營運或控制之程序的排放量進行一級活動數據之蒐集。此 10% 貢獻量應以淨排放量為基準，並排除 100 年評估週期內可能釋放之任何碳儲存。」依其定義，一級活動數據應針對個別製程或製程發生所在之廠址進行蒐集，並應具該製程之代表性，不符合一級數據要求事項的數據則為次級數據。本研究所使用之米產品類別規則 PCR 在原料取得階段，未強制要求收集一級活動數據，但建議若主要原料的第一階供應商（如肥料、農藥）等為國內業者時，應盡可能收集一級活動數據以提高數據精確度；製造階段投入量（稻穀、包裝材、燃料、電力等）與產出量（米產出量、聯產品產出量、廢棄物產出量）皆列為一級活動數據蒐集項目，運送販賣、使用及廢棄因涉及情境假設及數據蒐集較為複雜，則無一級活動數據之要求。本研究一級數據約佔 70%，次級數據約佔 30%（表 4）。

表 4. 一級及次級活動數據佔比

Table 4. Percentage of primary and secondary data.

生命週期階段	碳足跡 公斤 CO <sub>2</sub> eq Pkg <sup>-1</sup>	活動數據比例	
		一級數據	次級數據
原物料階段	1.8117		
製造	0.4227		
運送販賣	0.0040	70%	30%
使用	0.0849		
廢棄	0.0078		
總計	2.3312		

#### (四) 碳排熱點分析

生產者揭露產品碳足跡盤查，其中一個目的即是分析碳排熱點。本研究比較目標產品生命週期中碳排放量。本研究盤查標的碳足跡排放在原物料階段約佔 77.69%，原物料階段碳排來源最大宗為田間排放主要是源於種植階段會產生大量之甲烷 (CH<sub>4</sub>) 及氧化亞氮 (N<sub>2</sub>O)，每包產品因田間排放，約產生 0.6839 公斤 CO<sub>2</sub>eq，國際上已有許多文獻顯示田間排放為水稻種植主要碳排來源 (Hussain *et al.*, 2015; Yan *et al.*, 2005)。本調查結果亦呼應與過去文獻，顯示田間排放亦是國內水稻生產主要排放源。其次為柴油能源，每包產品因柴油燃料的使用，約排放 0.2965 公斤 CO<sub>2</sub>eq，經本研究調查，柴油能源主要是田間機械操作所用之能源，用於曳引機整地、插秧機插秧、施肥、收割等。第三高則為殺菌劑，每包產品因殺菌劑的使用，約排放 0.1934 公斤 CO<sub>2</sub>eq，殺菌劑主要用途為防治病害，故施用殺菌劑進行防治成為原物料階段主要碳排來源之一。接著主要碳排來源則是來自氮要素，每包產品因為使用氮要素造成碳排放約 0.1702 公斤 CO<sub>2</sub>eq，顯示本次盤查標的仍有透過合理化施肥，減少氮要素施用，有潛在減碳空間。總體而言，本次盤查標的大致上低於市售產品，本研究推測可能為受盤農場於製造階段使用粗糠爐進行烘穀，相較於傳統運用煤油、柴油等乾燥方式，僅需要少量電力及農場稻穀碾米後產生的粗糠，已相對節能減碳使用，故粗糠爐進行烘穀，在製造階段碳排已相對較低。由於產品碳足跡最主要目的是揭露產品對氣候變遷衝擊資訊

(即碳排資訊)，遵循 PCR 所盤查出之相同產品，基於一致的生命週期流程，雖然有一定可比性，但仍然有許多因素會導致差異，故產品間互相比較非碳足跡揭露主要目的，碳足跡資訊使用者須瞭解不確定性，不宜直接進行比較，資訊使用上，仍以與自身過去比較，進行減碳論述為宜。以下就變異因素說明：

1. 不同廠商製程不同：相同產品在不同廠家會有不同配方、栽培技術、管理方式或製程，會影響生產效率及產量，相同能資源投入中，技術效率較高的廠商，由於產量較高，單位碳排放量則可能較低，反之亦然。
2. 農產品盤查年度差異：由於農產品的生物特性，盤查年度由於氣候正常、天災較少，平均產量較高，以當年為基準年的碳排結果將會較低，反之則較高，此外，不同年代盤查時，排放係數亦有可能不同，如 2010 年的電力排放係數，與 2023 年的電力排放係數，會因為我國能源結構關係有不同係數，不同年份水稻土壤甲烷排放係數在清冊上亦有不同數值。而盤查時需要以年代最新的係數作為計算，故不同年代盤查相同產品，仍然難以直接比較。
3. 生產地區差異：農作物生產地區不同，會有不同產量表現、不同病蟲害發生，種種表現皆可能影響產量，造成不同地區產品碳排差異。
4. 假設情境不同：以本研究為例，本研生命週期評估係以從搖籃到墳墓階段，有多處需要作情境假設，如運送配銷、使用、廢棄，會因為盤查對象、所在地區、消費習慣有不同假設，造成不同產品碳排差異。

## 結論與建議

本研究基於個案目標產品盤查結果，提出相關結論與建議，做為未來目標產品減碳策略與參考建議。本次盤查原物料階段，因農場有產銷履歷系統，基礎資料如栽培面積、產量，使用的農藥、肥料等資源皆有一級數據，品質尚佳。農產品碳足跡盤查過程中，常遭遇之困難主要來自於數據或佐證資料不完整，農民多無記帳或是紀錄習慣，對盤查人員來說，較難蒐集完整資料，部分資料需要透過訪談、問卷調查進行推理設算，對於數據品質及盤查結果可信度將會打折扣。建議有興趣進行產品碳足跡盤查之生產者養成紀錄生產活動及記帳的習慣，提供更詳細的一級數據並增加重複數，不僅可提高數據品質，重複數增加亦可透過估計信賴區間瞭解量化其不確定性。針對活動數據紀錄，除了使用傳統紙本記錄外，亦可採用農業部開發的免費系統「農務 e

把抓」進行紀錄，將有助於生產活動數化記錄，由於產品碳足跡係基於產品生命週期而記錄，未來也建議系統維護單位可將不同產品 PCR 中的生命週期模組建立於系統內，讓不同作物品項之農民可直接套用模組，搭配排放係數資料直接計算，將有助加快自我盤查的效率。

本盤查揭露資料主要使用情境為碳排熱點探討。經盤查後發現較大排放來源為原物料階段，主要來自田間排放、柴油能源、殺菌劑及氮要素。針對田間排放的減碳策略，目前已有許多針對水分管理以達到減碳效果的研究，如利用間歇性灌溉降低水田碳排 (Cheng *et al.*, 2022; Feng *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2015)，柴油能源主要用於曳引機整地、插秧機插秧、施肥、收割等，建議生產者在不影響產量的前提下，可朝向低整地、不整地等栽培模式，降低柴油能源使用，或應用電動農機取代部分工項。此外，目前已有不整地、低整地栽培相關研究，並指出不整地或低整地栽培，搭配適當的輪作制度與管理，有潛力在不影響產量的前提下降低碳排放，並有保護土壤，提升土壤有機質等好處 (Denardin *et al.*, 2019; Guo *et al.*, 2021)，值得進一步推廣與研究。殺菌劑施用主要為防治病害，建議農戶可加強田間管理，運用 IPM 等整合防治技術，降低殺菌劑使用。此外，過去曾有研究發現水稻‘桃園 3 號’是較容易受到稻熱病感染之品種 (周等, 2021; 陳等, 2004)，建議農戶可考慮種植本場水稻新品種‘桃園 6 號’或‘桃園 7 號’。‘桃園 6 號’是一自有機栽培田選育出的中晚熟品種，具有產量穩定、適合有機栽及友善栽培、中等抗稻熱病等特色 (鄭等, 2021)，栽培‘桃園 6 號’除了可能在減少氮素施用或病蟲害防治上減少投入，達到減少碳排放的效果，有機及友善栽培亦有許多碳足跡盤查過程中，較難以量化的正向環境外部性，如施用有機肥對於土壤環境的影響，需要透過實際測量才能計算，在產品碳足跡盤查中較難以量化呈現。另外，‘桃園 7 號’利用分子標誌輔助回交選拔策略，導入抗稻熱病基因至水稻‘桃園 3 號’的遺傳背景中，故繼承‘桃園 3 號’稻穀粒形大、米飯具芋頭香氣、產量穩定等優點，此外還大力提升對稻熱病的抗病能力 (簡, 2023)；亦能透過減少防治資材投入，具有減少碳排的潛力，將可提供農友新的栽培選擇。最後，在栽培管理方面，據本研究盤查結果，標的產品栽培過程中，每公頃平均約施用 235 公斤之氮要素，依據過去針對種植‘桃園 3 號’相關研究指出，在兼顧品質與產量的前提下，一期作以每公頃 120 公斤處理較佳 (莊, 2009)，顯示本次盤查標的仍有減碳空間。故本研究建議生產者加強合理化施肥，提升氮要素利用效率，不僅可減少因氮素施用造成之碳排放，由於氮肥與水稻病蟲害、生育、品質及產量密切相關，不僅對水稻品質有影響，合理化施

肥亦能降低殺菌劑、殺蟲劑施用，間接減少碳排，達到生產與環境雙贏。最後值得注意的是，製造階段應用粗糠爐烘穀，可能為本次盤查標的相較於其他米產品碳排較低的因素之一，故建議農政單位持續積極輔導業者設置乾燥設備及粗糠爐，達到促進水稻剩餘資源循環利用與減少碳排的綜效。

## 參考文獻

- 周浩平、王玉瑤、胡智傑。2021。水稻各品種(系)對稻熱病抗感性試驗。p. 40-42。刊於：吳志文等編著。高雄區農業改良場年報。高雄區農業改良場出版。屏東。
- 莊浚釗。2009。氮素用量及氮肥分配率對水稻品種桃園 3 號產量及米質之影響。桃園區農業改良場研究彙報 65:45-60。
- 陳素娥、黃振增、林孟輝、鄭隨和。2004。水稻桃園 3 號之育成。桃園區農業改良場研究彙報 56:1-17。
- 鄭智允、楊志維、簡禎佑、林孟輝。2021。水稻新品種桃園 6 號之育成。桃園區農業改良場研究彙報 90:1-24。
- 環境部。2022。中華民國國家溫室氣體排放清冊報告。  
<[https://unfccc.saveoursky.org.tw/nir/2022nir/download\\_figure.php](https://unfccc.saveoursky.org.tw/nir/2022nir/download_figure.php)>。
- 環境部。2024。碳足跡資訊網。<<https://cfp-calculate.tw/cfpc/WebPage/index.aspx>>。
- 簡禎佑。2023。水稻抗稻熱病育種及新品種‘桃園 7 號’的育成經過。桃園區農業專訊 125:15-20。
- Brown, G., J.Wood, J., and A.Estrin. 2005. Bioethanol greenhouse gas calculator: Users' guide. Imperial College London, London, UK.
- Cheng, H., K. Shu, T. Zhu, L. Wang, X. Liu, W. Cai, Z. Qi, and S. Feng. 2022. Effects of alternate wetting and drying irrigation on yield, water and nitrogen use, and greenhouse gas emissions in rice paddy fields. *Journal of Cleaner Production*. 349:131487.
- Denardin, L. G. de O., F. de C. Carmona, M.G. Veloso, A.P. Martins, T.F.S. de Freitas, F.S. Carlos, É. Marcolin, F.A. de O. Camargo, and I. Anghinoni. 2019. No-tillage increases irrigated rice yield through soil quality improvement along time. *Soil and Tillage Research*. 186:64-69.
- Denver, S., T. Christensen, T.B. Lund, J.V. Olsen, and P. Sandøe. 2023. Willingness-to-pay

- for reduced carbon footprint and other sustainability concerns relating to pork production- A comparison of consumers in China, Denmark, Germany and the UK. *Livestock Science*. 276:105337.
- Feng, Z., T. Qin, X. Du, F. Sheng, and C. Li. 2021. Effects of irrigation regime and rice variety on greenhouse gas emissions and grain yields from paddy fields in central China. *Agricultural Water Management*. 250:106830.
- Feucht, Y., and K. Zander. 2017. Consumers' willingness to pay for climate-friendly food in European countries. *Proceedings in Food System Dynamics*. p. 360-377.
- Guo, L., L. Zhang, L. Liu, F. Sheng, C. Cao, and C. Li. 2021. Effects of long-term no tillage and straw return on greenhouse gas emissions and crop yields from a rice-wheat system in central China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 322:107650.
- Hussain, S., S. Peng, S. Fahad, A. Khaliq, J. Huang, K. Cui, and L. Nie. 2015. Rice management interventions to mitigate greenhouse gas emissions: A review. *Environmental Science and Pollution Research*. 22:3342-3360.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2003. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. 13 March 2024.  
<[https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/3\\_8\\_HFC-23\\_HCFC-22\\_Production.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/3_8_HFC-23_HCFC-22_Production.pdf)>.
- Kashyap, D., and T. Agarwal. 2021. Carbon footprint and water footprint of rice and wheat production in Punjab, India. *Agricultural Systems*. 186:102959.
- Wassmann, R., N. Van-Hung, B.T. Yen, M. Gummert, K.M. Nelson, S.H. Gheewala, and B.O. Sander. 2021. Carbon footprint calculator customized for rice products: Concept and characterization of rice value chains in southeast Asia. *Sustainability*. 14(1):315.
- Wiedmann, T., and J. Minx. 2008. A definition of 'carbon footprint.' *Ecological Economics Research Trends*. 1:1-11.
- Wu, P., B. Xia, and X. Wang. 2015. The contribution of ISO 14067 to the evolution of global greenhouse gas standards-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 47:142-150.
- Xu, X., B. Zhang, Y. Liu, Y. Xue, and B. Di. 2013. Carbon footprints of rice production in five typical rice districts in China. *Acta Ecologica Sinica*. 33(4):227-232.
- Yan, X., K. Yagi, H. Akiyama, and H. Akimoto. 2005. Statistical analysis of the major

variables controlling methane emission from rice fields. *Global Change Biology*. 11(7):1131-1141.

Zhang, L., J. Ruiz-Menjivar, Q. Tong, J. Zhang, and M. Yue. 2021. Examining the carbon footprint of rice production and consumption in Hubei, China: A life cycle assessment and uncertainty analysis approach. *Journal of Environmental Management*. 300:113698.

Zhong, S., and J. Chen. 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.

# Exploratory Study on the Carbon Footprint of Rice Cultivar Taoyuan No.3 Product<sup>1</sup>

Tsung Hua Lee<sup>2</sup>

## Abstract

This study focuses on the product of 'Taoyuan No.3' rice cultivar, which the main rice cultivar grown in northern Taiwan. We selected a single farm and applied the Life Cycle Assessment method for conducting carbon footprint inventory. The aim is to analyze the carbon hotspots in the product's production process through the results and propose carbon reduction strategies and suggestions. The results showed that the carbon footprint of the 2 kg packaged 'Taoyuan No. 3' rice product is 2.3305 kg CO<sub>2</sub>eq, with the raw material stage accounting for approximately 77.69%, manufacturing stage 18.14%, transportation and sales 0.20%, usage 3.64%, and disposal 0.33%. Based on the analysis of carbon hotspots, this study suggests that producers could move towards intermittent irrigation to improve water management, shift to low or no tillage cultivation models without affecting yield, and consider using electric agricultural machinery to reduce reliance on diesel fuel, and rationalize fertilization. Additionally, adopting new varieties that are more suitable for organic and eco-friendly practices, or that offer greater disease resistance such as 'Taoyuan No. 6' or 'Taoyuan No. 7', could further reduce the product's carbon footprint. This possibility merits deeper exploration through additional inventory analysis and investigation.

Key words: agriculture net-zero, carbon reduction strategies, life cycle assessment

---

<sup>1</sup> Contribution No. 551 from Taoyuan DARES, COA.

<sup>2</sup> Assistant Researcher (corresponding author, thlee@tydais.gov.tw).