

電動式及引擎式搬運車作業碳排放比較

黃惟揚、周浩源、吳有恒、曾鉅翔、李汪盛

農業部桃園區農業改良場

摘要

本研究針對常見 400 公斤與 500 公斤載重之農地搬運車，進行電動式與引擎式機型的性能調查與碳排放比較。透過收集農機性能測定報告，整合搬運車之基本規格、能源消耗、作業距離、車重量、每公里碳排與碳排效率等指標，進行系統性分析。研究結果顯示，電動式搬運車在作業過程中無直接碳排放，碳足跡主要取決於電力結構，引擎式搬運車則因燃油燃燒產生顯著碳排，其碳排量約為相同載重能力的電動搬運車之 3.5 至 5.5 倍。研究建議針對高頻率短距離搬運作業場域，優先推動電動式搬運車以提升農業作業永續性。

關鍵詞：農地搬運車、電動農機、碳排放、能源效率、永續農業

緒論

近年來，氣候變遷與農業勞力短缺問題，促使各國加速農業機械化與電動化發展。農地搬運車在田間收穫、資材運送、果菜搬運等作業中扮演關鍵角色，其動力來源與能源使用效率將直接影響碳排放。傳統搬運車多採用汽油引擎，具有高扭力與續航優勢，惟其燃油燃燒過程排放大量二氧化碳與空氣污染物。隨著電池與馬達技術進步，電動式搬運車逐漸成為新興選擇，具備零排放、低噪音與易保養等特性，適合溫室與友善環境農場使用。目前針對電動與引擎搬運車之碳排放與性能比較研究相對有限，尤其針對台灣地區農機具實際測試與碳排評估之研究更為稀少，且多數研究著重於理論模型或單一機型實測。本研究針對兩類最常見載重等級(400 公斤與 500 公斤)之搬運車進行系統性性能與碳排放比較，整理分析各型電動與引擎式搬運車之基本規格與作業參數，提出適用條件與推廣建議與策略方向，協助推動農業低碳化與機械電動化，提供農業從業者與政策制定者具體參考依據。

材料與方法

一、研究對象

本研究盤點農業部農機具性能測定報告性能資料之搬運車共 20 部，依照搬運車載重能力與動力來源分為四組：

- (一) 電動式搬運車載重 400 公斤(5 款)
- (二) 引擎式搬運車載重 400 公斤(3 款)
- (三) 電動式搬運車載重 500 公斤(3 款)
- (四) 引擎式搬運車載重 500 公斤(9 款)

二、性能與碳排放指標

針對每部搬運車收集以下資料：

(一) 車重與載重(公斤)

(二) 能源消耗

耗油量(公升/公里)或耗電量(度/公里)。

(三) 碳排係數

1. 汽油引擎用油：2.92 kgCO₂/L (依據 CO₂ 產品碳足跡資訊網)。
2. 電動馬達用電：0.606 kgCO₂/kWh(依據台灣 2021 年電網碳排係數)。

(四) 作業距離

單次充電或加油可行駛距離。

(五) 碳排比較

1. 比較載重 400 公斤及 500 公斤引擎式及電動式搬運車每公里碳排放(kgCO₂/km)。
2. 比較載重 400 公斤及 500 公斤引擎式及電動式搬運車每公斤每公里碳排放(kgCO₂/kg·km)。

三、資料來源與處理

針對每部搬運車收集以下資料：

- (一) 農業部農業試驗所農機具性能測定報告。
- (二) 國內公定碳排放係數。

結果與討論

一、電動式及引擎式搬運車數據整理

本研究透過實地測試比較電動式(表 1 及表 3)與引擎式(表 2 及表 4)搬運車的碳排放量，結果顯示兩者在運行過程中的碳排放存在顯著差異。

表 1、載重 400 公斤電動式搬運車碳排調查

機型 (代號)	車重 (公斤)	充飽電 行走距離 (公里)	每公里 電池放電量 (度/公里)	每公里 碳排放 (kgCO ₂ e/公里)	每公斤每公里 碳排放 (kgCO ₂ e/ kg·km)×10 ⁻⁴
A.	250	30.5	0.076	0.057	0.880
B.	513	43.3	0.108	0.082	0.897
C.	600	67.0	0.129	0.098	0.977
D.	430	48.2	0.090	0.068	0.818
E.	541	108.7	0.079	0.060	0.640
平均值			0.096	0.073	0.842

註 1.：每公里碳排放(kgCO₂e/公里) = 電池放電量(度) × 0.606 (kgCO₂e/度，2021 年之電力碳足跡) ÷ 充電效率(80%) ÷ 行走距離(公里)

註 2.：全重=車重+載重(400 公斤)

表 2、載重 400 公斤引擎式搬運車碳排調查

機型 (代號)	車重 (公斤)	裝滿油 行走距離 (公里)	每公里 耗油量 (升/公里)	每公里 碳排放 (kgCO ₂ e/公里)	每公斤每公里 碳排放 (kgCO ₂ e/ kg·km)×10 ⁻⁴
F.	365	166.5	0.090	0.263	3.439
G.	317	121.9	0.078	0.228	3.174
H.	289	99.1	0.096	0.280	4.063
平均值			0.088	0.257	3.550

註 1.：每公里碳排放(kgCO₂e/公里) = 耗油量(公升) × 2.92 (kgCO₂e/公升，2021 年於移動源使用) ÷ 行走距離(公里)

註 2.：全重=車重+載重(400 公斤)

表 3、載重 500 公斤電動式搬運車碳排調查

機型 (代號)	車重 (公斤)	充飽電 行走距離 (公里)	每公里 電池放電量 (度/公里)	每公里 碳排放 (kgCO ₂ e/公里)	每公斤每公里 碳排放 (kgCO ₂ e/ kg·km)×10 ⁻⁴
I	198	20.1	0.086	0.065	0.933
J	238	19.1	0.126	0.095	1.290
K*	527	112.9	0.055	0.042	0.406
平均值			0.089	0.067	0.876

註 1：每公里碳排放(kgCO₂e/公里)= 電池放電量(度)×0.606 (kgCO₂e/度，2021 年之電力碳足跡)÷ 充電效率(80%)÷ 行走距離(公里)

註 2：全重=車重+載重(500 公斤)

註 3：K 機型馬達採用交流馬達，其效率遠高於直流馬達。

表 4、載重 500 公斤引擎式搬運車碳排調查

機型 (代號)	車重 (kg)	裝滿油 行走距離 (公里)	每公里 耗油量 (升/公里)	每公里 碳排放 (kgCO ₂ e/公里)	每公里每公斤 碳排放 (kgCO ₂ e/ kg·km)×10 ⁻⁴
L	350	58.4	0.115	0.335	3.944
M	295	53.1	0.104	0.302	3.802
N	465	89.3	0.168	0.491	5.086
O	447	221.3	0.104	0.304	3.205
P	510	91.3	0.164	0.480	4.753
Q	480	219.4	0.118	0.346	3.530
R	440	206.4	0.102	0.297	3.160
S	435	152.0	0.132	0.384	4.109
T	430	135.8	0.147	0.430	4.624
平均值			0.128	0.374	4.024

註 1：每公里碳排放(kgCO₂e/公里) = 耗油量(公升)×2.92 (kgCO₂e/公升，2021 年於移動源使用)÷ 行走距離(公里)

註 2：全重=車重+載重(500 公斤)

二、碳排放比較分析

(一) 電動式搬運車

1. 碳排來源：電動式搬運車於作業過程中無直接碳排放，其碳足跡主要來自電力生產過程。
2. 每公里碳排範圍：根據本研究測定結果，載重 400 公斤之電動式搬運車每公里碳排放量介於 0.057 至 0.098 kgCO₂e(如圖 1)，而載重 500 公斤者則介於 0.042 至 0.095 kgCO₂e(如圖 2)。此數值與當地電網能源結構密切相關，若電網中再生能源佔比提升，則電動車的碳排放量可望進一步下降。
3. 評估指標選擇與碳效率分析：傳統以「每公里碳排放量」作為碳排指標，可能忽略不同車型間因車重與載重配置差異所產生的影響。例如，部分電動搬運車為延長連續作業距離，額外加裝多組電池，雖提升續航力，卻也增加整車重量，實測電動式搬運車車重介於 198 至 600 公斤之間，若僅以每公里碳排評估，可能低估其整體碳效率表現。因此，本研究另行建立「每公里每公斤碳排放量」作為補充評估指標。結果顯示：
 - (1) 400 公斤載重電動式搬運車每公里每公斤碳排放量介於 0.640×10^{-4} 至 0.977×10^{-4} kgCO₂e/kg·km。
 - (2) 500 公斤載重者則介於 0.406×10^{-4} 至 1.290×10^{-4} kgCO₂e/kg·km。

其中以 K 機型表現最佳，其採用高效率之交流馬達(AC motor)，相較於傳統直流馬達具備更高能源轉換效率；同時透過加裝多顆電池提升續航距離，實測可連續作業達 112.9 公里。在所有測試機型中，其每公里每公斤碳排放量最低，僅 0.406×10^{-4} kgCO₂e/kg·km，顯示 K 機型在搬運效能與減碳效益方面具有高度整合性與代表性。

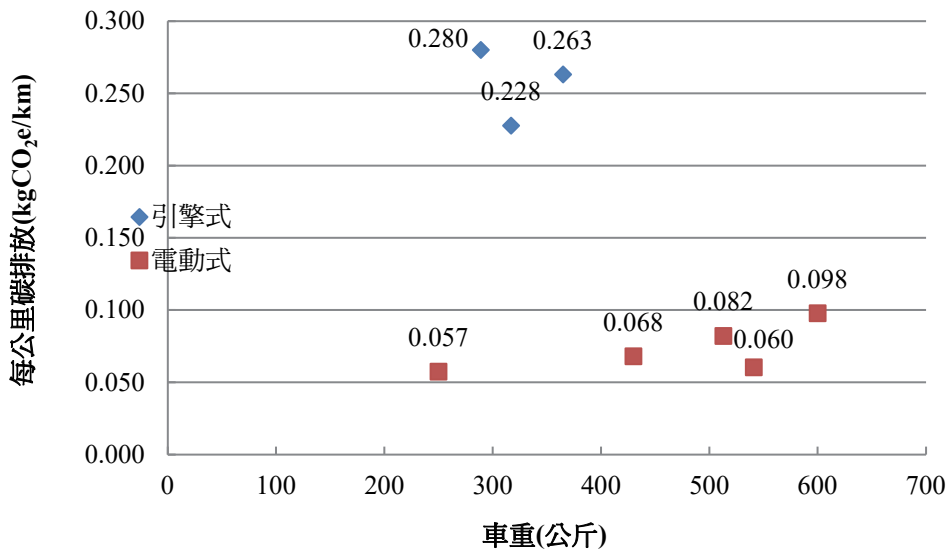


圖 1、載重 400 公斤電動式及引擎式搬運車每公里碳排放比較

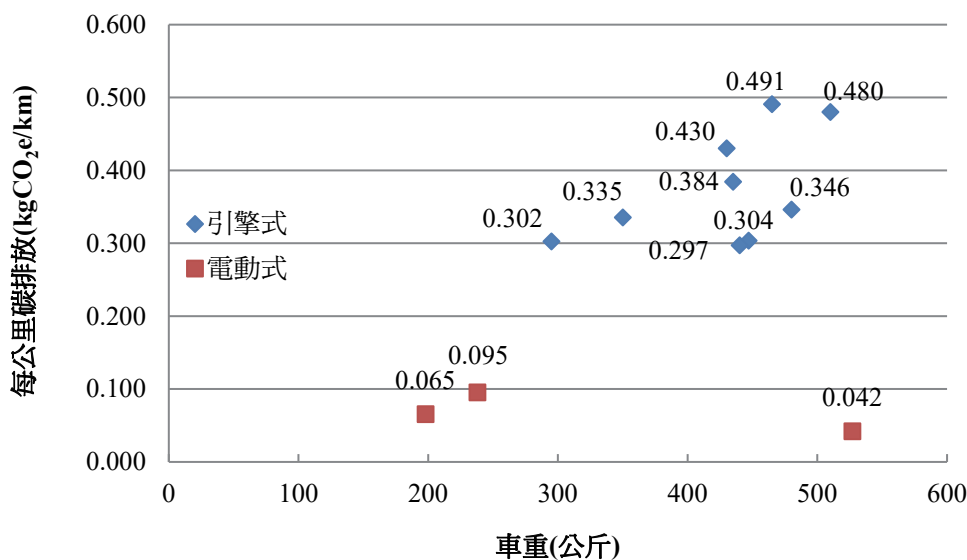


圖 2、載重 500 公斤電動式及引擎式搬運車每公里碳排放比較

(二) 引擎式搬運車

1. 碳排來源：引擎式搬運車在作業過程中直接燃燒汽油，產生明顯碳排放，其碳足跡來自化石燃料的燃燒過程，為直接排放來源。
2. 每公里碳排放量範圍：根據報告結果，載重 400 公斤的引擎式搬運車每公里碳排放量介於 0.228 至 0.280 kgCO₂e(如圖 1)；而 500 公斤載重的引擎式搬運車則介於 0.297 至 0.491 kgCO₂e(如圖 2)。整體而言，該排放量遠高於同載重級距的電動式搬運車，差距高達 5 倍以上。
3. 碳效率評估與差異性探討：若僅依「每公里碳排放」進行比較，雖可直觀呈現燃油型車輛之碳排水準，但未能反映因車體重量設計、能源密度與載運效率所產生的碳效能差異，盤點引擎式搬運車車重 289-510 公斤不等。因此進一步引入「每公里每公斤碳排放量」指標進行補充評估。分析結果顯示：

(1) 400 公斤載重引擎式搬運車每公里每公斤碳排放量介於 3.17×10^{-4} 至 4.06×10^{-4} kgCO₂e/kg·km

(2) 500 公斤載重機型則介於 3.16×10^{-4} 至 5.086×10^{-4} kgCO₂e/kg·km。

整體而言，雖部分 500 公斤載重搬運車型表現略優於 400 公斤載重，惟與電動車型之最低值(0.406×10^{-4} kgCO₂e/kg·km)相較，差距高達 5 倍以上。

三、作業特性與使用體驗分析(表 5)

(一) 電動式搬運車

1. 電動搬運車視電池容量，可連續行走 19-119 公里，電池完全放電後，充飽電所需時間約為 5 至 10 小時，視電池容量與充電器功率而定，與引擎式搬運車相比，電動式搬運車能源補充效率較低，故購置搬運車需考量一天搬運作業之里程數。
2. 適合短里程、無廢氣適合用於室內、操作簡單、安靜且重視環保的使用者。

(二) 引擎式搬運車

1. 引擎式搬運車視油箱大小及引擎效率，連續作業之里程 53-221 公里，操作過程釋放二氧化碳(CO₂)、一氧化碳(CO)和氮氧化物(NO_x)，對環境及操作者產生負面影響。
2. 引擎式搬運車為四行程引擎，無須調配機油，添加燃油時間約 3-5 分鐘，能源補充的所需時間遠比電池充電低。
3. 適合長時間、戶外、長距離、連續作業長且用不受充電影響的使用者。

表 5、電動式與引擎式搬運車性能與操作特性比較

項次	比較項目	電動式搬運車	引擎式搬運車
1.	續航時間	依電池容量而定	油箱大小而定，燃油可快速補充
2.	能源補充時間	電池充電時間長	快速補充燃油
3.	能源存放條件	台電電力系統或發電機充電	燃油存放具危險性
4.	維護需求	低，僅需定期充電與電池保養， 唯電池壽命將盡需汰換	高，需更換火星塞、濾網、啟動繩 等
5.	排放	無廢氣排放，環保	產生廢氣且污染空氣
6.	耐用性	電池壽命有限	引擎耐用度高，可長期使用
7.	環境適應性	環境溫度過高及過低可能影響 電池效能	不受溫度影響，適應性強
8.	持續使用時間	需等候充電，影響連續作業	只要有燃油即可隨時補充，可長 時間運作
9.	適合場域	室內、室外	室外

結 論

本研究針對載重 400 公斤與 500 公斤的電動式與引擎式搬運車進行碳排放與作業效能之實證比較，結果顯示兩者在碳排放表現上存在顯著差異。電動式搬運車於作業過程中無直接碳排，其碳足跡主要來自電力生產，碳排量受限於電網能源結構影響，整體而言每公里碳排放量遠低於引擎式車輛，約為其 3.5 至 5.5 倍之差距。為更準確評估搬運效能與碳效率，本研究除使用傳統「每公里碳排放量」外，亦建立「每公里每公斤碳排放量」作為補充指標，以反映不同車重與載重組合對碳排的影響。分析結果顯示，電動式搬運車碳效率整體優於引擎式，其中採用高效率交流馬達並配置多電池組之 K 機型，具備最低碳排與最高續航力，為兼顧實用與永續之代表機型。在使用特性方面，電動式車輛雖需較長充電時間，但具操作安靜、零排放與維護簡易等優點，適合短距離、溫室與環境敏感區域應用；引擎式車輛則具備續航力與能源補充便利性，較適用於長距離或偏遠田區。然而，其高碳排與空氣污染潛勢亦不可忽視。綜上所述，為因應農業減碳與電動化轉型趨勢，建議針對高頻率短程作業優先導入電動式搬運車，並搭配提升再生能源占比與導入碳效率指標作為政策推廣與補助依據，以促進農業機械永續發展。

參考文獻

1. CO₂ 產品碳足跡資訊網，<https://cfp-calculate.tw/cfpc/WebPage/Index.aspx> (最後查閱日期：2025 年 2 月)。
2. 農業部農業試驗所農機具性能測定報告，<https://www.tari.gov.tw/> (最後查閱日期：2025 年 5 月)。