

電動化鼓風噴霧機性能自測之研究¹

張金元^{2*}、張佳偉²、邱俊傑³、林祐廷³

摘 要

為促進我國 2040 年農業淨零排放目標之達成，本研究針對果園鼓風噴霧作業之減碳與省工作業需求，開發一款符合性能測定規範之全電動化鼓風式噴霧機，採用行走 7.2 kW、噴霧幫浦 3 kW、鼓風 3 kW 之獨立馬達配置於四輪驅動及四輪轉向之行走底盤，迴轉半徑為左側 1.91 m、右側 1.93 m。經連續作業結果顯示，本項電動鼓風噴霧機之機體長、寬、高 280, 125, 138 cm，淨重 980 kg，滿載重量 1,290 kg，於充電 6 小時滿電與滿載下，可連續行駛運轉 4 小時 10 分鐘，機具實測總里程 46.1 km，並以 15-16 km/h、6-10 km/h 兩種車速進行鼓風、噴霧之連續行走測試。機具之煞車距離、坡地行走特性與顛簸路面均自主測試符合測定規範。噴霧性能實測有效寬度 9 m、高度 6 m 下，水試紙附著均勻性均符合規範。本研究成果最重要的貢獻在於環境效益。相較於傳統燃油機具，此電動噴霧機的碳排放量減幅高達 81.45% 以上，同時作業噪音亦顯著降低至 81.6 分貝(dB)。總體而言，本研究完成之電動鼓風噴霧機，其性能穩定、低碳排且低噪音之特性，可為國內果樹園區提供一具永續性的高效能電動農機選擇，有力佐證電動化為達成農業淨零轉型之關鍵路徑。

關鍵字：農業機械、電動農機、性能測定、鼓風噴霧

前 言

依據農業淨零排放擬定四大主軸-減量、增匯、循環、綠趨勢，其中從源頭減少排放之「減量」發展電動化農耕機具，以取代傳統燃油農機，可直接減少石化燃油燃燒所產生之碳排放。為實現我國農業 2040 淨零目標，並為全面提升臺灣農業競爭力與永續性的關鍵，同時，為確保農業機械的製造品質與安全性能，透過專家會議擬定之農機性能測試項目，評估農機在田間作業時之操作性能、行駛效率與耐久性，以確保機具符合

¹ 農業部臺中區農業改良場研究報告第 1110 號。

² 農業部臺中區農業改良場副研究員、助理研究員

³ 財團法人金屬工業研究發展中心工程師、副工程師

*通訊作者：張金元，Email: changcy@tcdares.gov.tw

規範標準，提升農機使用上的安全性。完整的性能測定報告提供詳細的機具測試數據與評估結果，產品依據測定之數據進行設計改良，進而提升產業競爭力。

在眾多農耕機具中，傳統鼓風噴霧機因其在果樹栽培植物保護作業中的關鍵地位，成為電動化發展的優先目標之一。機具最大的特點係利用強大的鼓風力量將加壓細霧之藥液吹送，形成深廣、細緻的霧狀。常用於葡萄、釋迦等果樹園區，藉由強風將細霧吹散送達高處至作物頂部，或穿透葉片層至葉片背面，確保藥液覆蓋範圍，以提高防治效果，強勁的風力亦能將細霧吹送至遠距離，大幅提升作業效率、防治的區域範圍，進而節省時間與人力。為達農耕減碳淨零目標，本研究設計開發全電動化動力之鼓風噴霧機，並進行自主性能測定，以提供符合規範與淨零目標之農耕作業省工機種。

材料與方法

一、受測機具與測試場域：

研發之電動鼓風式噴霧機，由電動行走載台、噴霧部、鼓風部 3 項部分所組成，各自搭載 3 組獨立馬達，分別為行走 7.2 kW、噴霧幫浦 3 kW、鼓風 3 kW。機具行走底盤為四輪驅動、四輪轉向，採用永三源農機廠所製造之燃油式鼓風噴霧機體底盤，動力傳動方式經由馬達、皮帶及傳動軸動力傳遞至四輪驅動，轉向裝置配置有油壓動力方向盤進行四輪轉向。噴霧部之噴嘴數量為 15 組。

電動鼓風式噴霧機符合「乘坐式鼓風噴霧機性能測定方法及暫行基準(TS12)」之測定項目，包含機具最高直線前進速度 $\leq 20\text{km/h}$ 、坡道停駐與再起步能力、平地煞車拖動距離 \leq 車速(km/h)之 15%、連續作業 4 小時以上不可有異常故障等項目。

平地行走與作業測定地點位於臺中市大肚區溪洲路農業道路，道路為柏油平整路面，測定日期為 2024 年 9 月 26 日至 9 月 27 日，連續兩天進行測定作業，合計 16 小時；坡地性能測定行走與測定地點為永三源測試場域(座標 $24^{\circ}18'05.0''\text{N}$, $120^{\circ}40'19.8''\text{E}$)，測定日期為 2024 年 11 月 06 日，地面為混凝土覆柏油，為粗糙路面，測試坡度為 18° 。

二、試驗測定儀器：

為確保測定結果之精確性與可信度，本研究採用以下專業儀器進行量測：

- 1.車輛動態量測速度/距離/路徑記錄：VBOX GNSS(型號 RLVB20SL3)車輛動態量測系統，含主機與衛星天線架設，用以記錄車速、行駛距離與路徑，並輔以一般量具碼表與皮尺輔助時間與距離檢核。測試儀器 VBOX GNSS 為一種高精度全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)，廣泛應用於車輛動態

測試、運動分析及科學研究。

2. 噪音計：廠牌為寶工(Pro'sKit)、型號為 MT-4618，其核心感測器為極化電容式麥克風，頻率響應範圍為 30 Hz 至 8 kHz，解析度達 0.1 dB。依據原廠規格，其準確度於 94 dB@1 kHz 時為±1.5 dB，於 94 dB@8 kHz 時為±5 dB，可測量範圍涵蓋 30-130 dBA。

三、試驗條件：

所有測試均在標準化條件下進行，以確保數據之一致性與可比較性：

1. 載重條件：本機具淨重為 980 公斤，其三維尺寸為長 280 公分、寬 125 公分、高 138 公分。試驗分為「空車」與「滿載」兩種條件。滿載條件係指將噴霧水箱注滿 310 公斤的水，使機具總重達到 1,290 公斤(詳見圖一)。
2. 測段設定：行走測試之單次測定距離為 10 m，測定 3 次取平均值。
3. 噴霧撒佈測定：鼓風機以常用速度/壓力運轉，平台以常用撒佈速度行進。環境之自然風速 < 1 m/s。

四、測試項目與方法：

電動化農機依據測定項目進行操作性能、行駛效率與耐久性兩大項目測試，以確保機具符合規範標準，其中操作性能包含噴霧、行走、轉向與顛簸路面行走等測試，行駛效率與耐久性包含噪音、耐久性等測試，說明如下：

1. 連續行駛測試：於充電飽和後，使機具在河堤道路與實際農田場域，連續執行包含行走與噴霧等綜合性作業至少 4 小時。過程中以 VBOX 系統全程記錄時速、路徑與總行駛里程，用以評估其在長時間運作下的續航能力與系統可靠度。
2. 噴霧性能測試：於測定環境之自然風速 < 1 m/s 條件下，依測定基準將水試紙懸掛於撒佈網格點，機具沿中心線行進通過一次，依據水試紙著色範圍判定有效撒佈寬度與高度，並符合於受測區域範圍之水試紙在 50 % 以上之附著度。
3. 安全性能測試：在柏油平整路面上，以 10 m 測段進行前進與後退行走試驗，量測單段時間並換算速度；量測機具最高行駛速度。平地緊急煞車性能：於直線行駛達目標車速後施加最大制動力，量測左輪/右輪之平地煞車拖動距離，並需符合測定基準之「拖動距離(m) ≤ 車速(km/h)的 15%」規定。
4. 碳排放量估算：電動農機與燃油農機依據碳排放係數與單位時間耗油量/用電量估算碳排放量。
5. 行走動力源之噪音測定：使用噪音計測定電動農機與燃油農機動力作業下之環境噪

音值。

6. 最小轉向半徑與顛簸路面行走結構測試：最小轉向半徑，以低速在平整路面連續轉向，量測左轉彎、右轉彎最小之轉彎半徑。崎嶇路面行走性能，依 TS12 規格設置突起障礙，分別以約為車輛行駛最高速度之 1/3 與 2/3 速度通過，觀察機體安定性與是否有零組件異常發生斷裂、漏液等情形。

結果與討論

本章在呈現電動鼓風噴霧機依據 TS12 測定基準，在操作性能、行駛效率與耐久性等方面的量化結果，並就其數據意義進行深入討論。所有測試皆模擬實際農田作業情境，涵蓋空車與滿載兩種狀態。



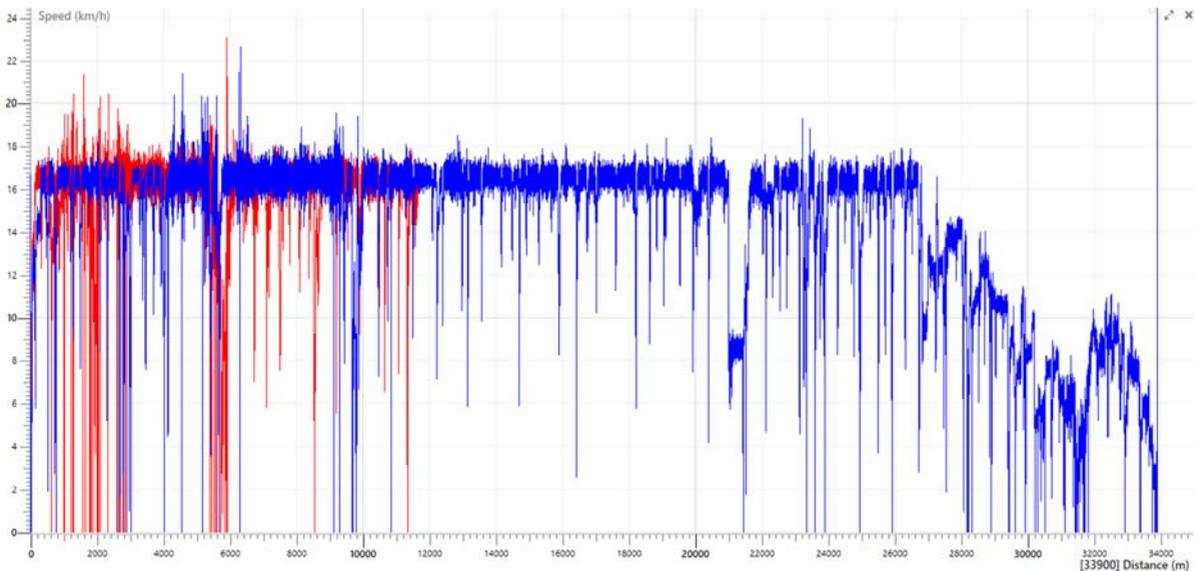
圖一、電動農機於平面道路進行連續行駛續航力測定。

Fig. 1. Range Testing of Electric Agricultural Machinery on Paved Roads.

一、連續行駛測試

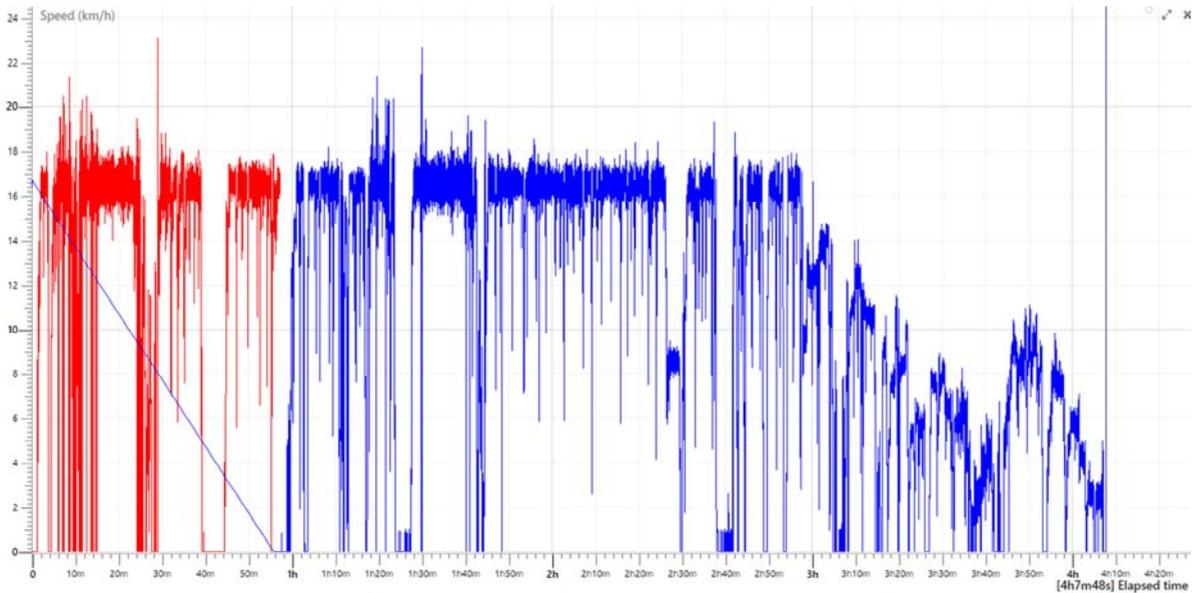
機具行駛測試日期為 2024 年 9 月 27 日，總計測試時間為 7 小時 30 分鐘，扣除機具整備與充電時間後，有效測試時間為 4 小時 10 分鐘。經 VBOX 測定總行駛距離為 46,098 m (11,750 m+34,348 m)，分為兩段，停機更換操作人員，第一段為 11,750 m，第二段為 34,348 m，中途停機為駕駛人員更換並進行短暫時間查看機具無發生異常，並持續進行機具測試作業，如圖二。

本機之續航能力在充飽電之滿載狀態下，連續行駛 4 小時 10 分鐘，顯示續航能力能滿足一般行駛作業需求。行駛距離之性能，總里程距離為 46.1 km，車輛行駛過程平穩，無異常抖動或結構鬆動現象，測試期間機具無發生任何故障，測試後檢查亦未發現異常磨損或結構損壞。



圖二、電動農機連續作業時間內之行駛總距離測定。

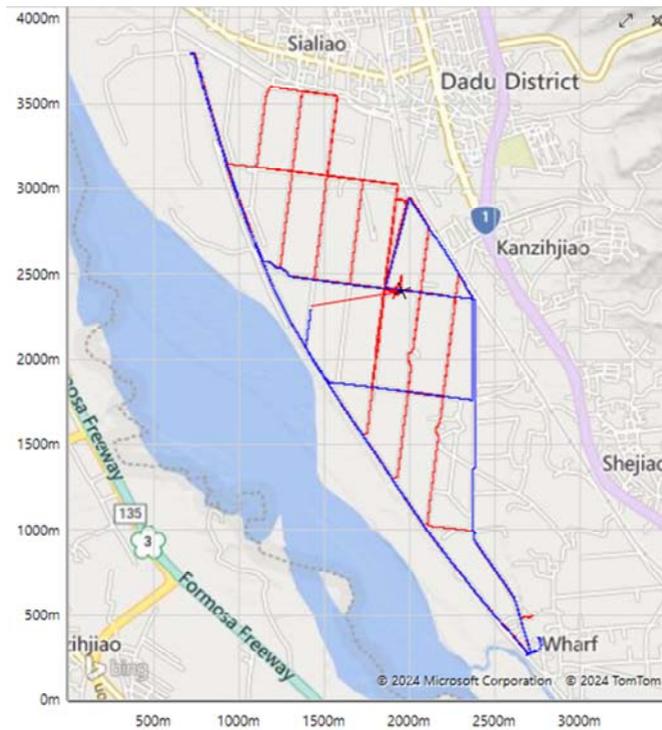
Fig. 2. Measurement of the total driving distance of electric farm machinery during a continuous operation period.



圖三、電動農機連續行駛之行駛速度與時間。

Fig. 3. Range Testing of Electric Agricultural Machinery on Paved Roads.

應用 VBOX 車輛動態感測器進行速度與時間記錄，行駛速度第 1 段為紅色數據，行駛時間為 0 至 55 min，第 2 段藍色數據為約 1 hr 起至 4 hr 18 min 結束。兩段之間之短暫中斷時間為更換駕駛，屬同日連續作業記錄。數據中行駛速度中速度至 0 km/h 為道路行走轉向循環，符合農業環境中之行駛情況。在初始 0 h 至 3 h 時段，機具行駛速度帶介於 14 至 17 km/h，為全動力輸出，機具以最速方式操駕，在 3 h 後速度則逐漸調降，亦高於一般果園作業速度，果園內實際運作車型速度 3-6 km/h。有效連續運轉時間為 4 小時 10 分鐘。前 3 hr 以全動力輸出高頻方式為主，3 hr 後降速以模擬果園內作業速度節奏模式行駛。以 VBOX 之速度開始 0 小時至 3 小時區間車行速度約為 15 至 16 km/h，3 小時至 4 小時 10 分鐘區間車行速度約為 6-10 km/h，如圖三。連續試驗車行速度均符合果園行列噴霧之節奏，並經 4 小時 10 分鐘測定結束後，應用 V-Box 系統整體記錄之連續作業試驗與行駛路徑，記錄時間長度共計 7 小時 30 分鐘(圖四)。



圖四、V-Box 系統記錄連續作業試驗行駛路徑-記錄時長 7 hr 30 min。

Fig. 4. The V-Box sensor recorded the test's driving path over 7 hours and 30 minutes.

電動化施作之鼓風噴霧機水箱加滿水總重量為 1,290 kg，可連續行駛 4 hr 10 min 與里程距離 46.1 km，行駛速度如圖三之狀態下，機具每小時之行駛里程為 11.06 km，相等於電動化的農地搬運機，載運 310 kg 物品，可連續行駛的時間與距離，本機之電動化施作成果表現優異。以相同測試條件，進行鼓風、噴霧與行駛三項作業功能動力輸出進行測定，將鋰鐵電池充電至滿電狀態，並於平面道路上進行連續作業，以慣型行走、鼓風、噴霧之輸出條件進行機具測試，行進速度約介於 6 km 至 6.5 km，經試驗結果顯示，可連續行駛時間為 1 小時 51 分鐘，總行駛里程 11.58 km，電量錶進入低電量顯示。

二、噴霧性能測試

測試地點位於農業部臺中區農業改良場農機研究室北側遮雨棚測試場域，外圍試紙附著率較低、左側主要因外在風力影響導致、右側因周邊障礙物影響，上方最頂部有頂棚影響因素，導致噴霧進入棚架內前有一風阻。水試紙藥液附著度在 50 % 以上之撒佈寬度與高度達廠商標稱值以上，TS12 規範之標稱撒佈範圍為寬度(8 m)與高度(4 m)內之

藥液附著度須超過 50 % 以上，本機擬定之測試標稱值範圍設定為寬度(8 m)與高度(5 m)內。

在噴霧性能測試方面，實測噴霧之寬度為 9 m，高度為 6 m，均超過設計規範，且藥液於水試紙上之附著度在 50 % 以上(表一)。標稱撒佈距離地面高度 6 m 及左、右寬度各 4.5 m 之範圍，符合測定標準水試紙需達標稱 8 m(寬)×4 m(高)之測試區域範圍水試紙超過 50 % 以上受測判定分布。本機配置有 15 個噴嘴組，並呈現半圓形分佈噴撒，每個噴嘴組裝置有 1 個 0.7 mm 或 1.4 mm 口徑之噴嘴，可供快速轉換選用。水箱可由上方開口加水，藥劑加入水箱後，裝置有高速迴水功能進行混合攪拌。噴灑作業時，噴霧幫浦自水箱底部吸取液體，加壓後經管路送至噴嘴，進行噴霧作業。

表一、水試紙測試各網點藥液附著度(%)

Table 1. Water test paper to test the adhesion of each point of the liquid (%)

Height(m)/ Width(m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	50	60	80	100	100	100	100	90	80	60
5.5	100	80	100	100	100	100	100	100	80	100
5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	90	100	100	100	100	100	100	100	100	90
3.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2.5	60	100	100	100	100	100	100	100	100	80
2	60	100	100	100			100	100	100	70
1.5	50	100	100	100			100	100	100	60

三、安全性能測試

機具性能測試日期為 2024 年 9 月 26 日，農機性能測定規範膠輪式農機的安全煞車距離(m)，須低於時速值(km/h)的 15%，煞車安全距離的公式如下：煞車距離(m)≤時速(km/h)×0.15。同時，其機具的最高行駛速限為 20 km/h，若車輛時速為 20 km/h，則煞車距離應為煞車距離≤20×0.15 = 3 m，因此，當車速為 20 km/h 時，煞車距離應不超過 3 m，且須依據測定時之實際車速計算煞車距離。

車輛於平地煞車時之拖動距離為空車時左輪為 1.90 m、右輪為 1.87 m，小於行駛時

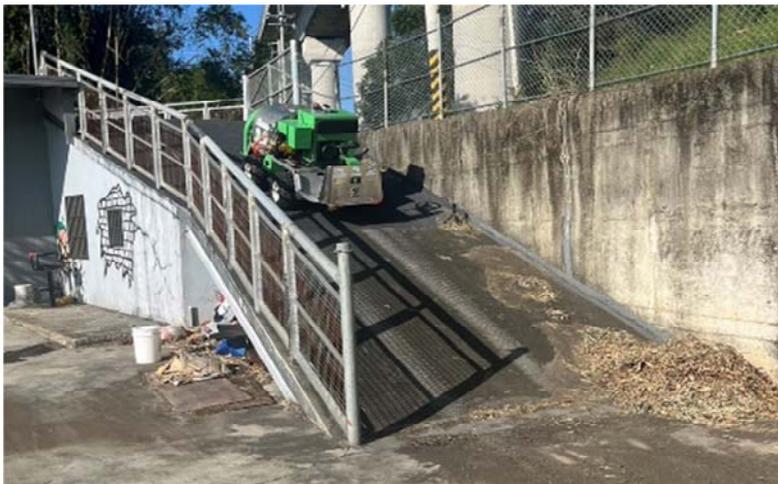
速 17.2 km/h 值之 15% 為 2.58 m，兩輪實測值均低於上限值的 2.58 m，顯示車輛在空車狀態下煞車性能符合規範要求。

車輛在載重狀態下測定煞車距離是測定中極為重要的項目，車輛在耕作任務中會處於載重狀態，如運輸作業時滿載農作物、肥料或其他負載。因此，載重條件下的煞車性能測試以接近實際使用情境，確保測試結果具有實際操作安全性。同時，載重直接影響機具的慣性和煞車性能，載重增加機具在行駛時的慣性力，煞車距離因慣性增加而延長，在緊急情況下所之拖動距離以停止農機具，因此，在載重條件下測定煞車距離，可以評估農機具在運行中是否有效停機，減少翻覆、碰撞等潛在風險。

機具乘載 310 kg 之滿水位下的載重狀態進行測定，行駛時速為 18.1 km/h，依據煞車距離需不超過時速值的 15% 原則進行測定，則煞車距離 $\leq 18.1 \times 0.15 = 2.715$ m。實測結果為左輪拖動距離為 2.57 m，右輪拖動距離為 2.61 m，在載重條件下，左輪的拖動距離 2.57 m 及右輪拖動距離 2.61 m 均低於規範限制 2.715 m，左輪及右輪均符合性能規範要求。

電動化鼓風噴霧機平地之行走速度，於最高速/後退試驗結果顯示，空車之高速為 17.2 km/h、低速 9.4 km/h；滿載行進速度為高速 18.1 km/h、低速 9.5 km/h，機具行走速度皆小於 TS12 測試基準之 20 km/h 速限內。後退車行速度實測值為 12.3 km/h。

測定基準規範機具於坡地行駛需於傾斜角度 18° 之坡面停駐 10 min，不可滑動，以及再發動行駛可安全前進(圖五)。經測試結果顯示，坡地安全測試於傾斜角度 18° 之坡面煞車熄火停駐 10 min、再發動皆可安全前進，無滑動現象，符合測試基準。



圖五、電動農機於坡地道路進行安全停駐測定。

Fig. 5. Safety parking test of electric farm machinery on sloping roads.

四、碳排放量估算

傳統燃油類動力之農機使用液體燃料，包含車用汽油、柴油等產品；電動農機充電則使用外購電力。鼓風噴霧機為移動型農機，依據碳足跡資訊網公告之每單位(公升)柴油之碳排係數為 3.32 kg CO₂e/L，農業用電每單位(kWh)之碳排係數為 0.606 kg CO₂e/L (經濟部能源署，2022、產品碳足跡資訊網，2023、經濟部能源署，2024、經濟部能源署，2024)。農業鼓風噴霧機常用 CY215R 型水冷式單缸四行程柴油引擎作為動力源，其中性能測定柴油引擎之單位時間耗油量約為 4.09 L/hr(農業部農業試驗所，2009)；此外，以一般柴油機常用比油耗值介於 0.21-0.26 kg/kWh 估算(Klanfar, et al., 2016., Al-Sager, et al., 2024., Friso, D. 2014., Aurecon Australasia Pty Ltd. 2023)，CY215R 引擎之額定功率 18 kW 在連續運轉下，計算公式為油耗量(L/h)=功率 P (kW)×比油耗 BSFC (kg/kWh) ÷柴油密度 ρ(kg/L)，以 P = 18 kW、BSFC = 0.21 kg/kWh、ρ = 0.84 kg/L，估算油耗量(L/h) = 18 kW × 0.21 kg/kWh ÷ 0.84 kg/L = 4.5 L/h。

以柴油引擎耗油量估值為 4.5 L/h，每公升柴油碳排係數為 3.32 kg CO₂e/L，換算後傳統農機(柴油引擎)的碳排放量約為 14.94 kg CO₂e/h；電動農機電池總電量為 8.448 kWh，運轉 4 hr 10min 時間後進入需要充電、無法正常運轉的低電壓條件狀態，電動農機使用農業用電 220V 電源，歷經充電時間 6hr，可進入滿電狀態。以 8.448 kWh 電量估算，每單位(kWh)農業用電碳排係數為 0.606 kg CO₂e/L，總碳排放 = 8.448 kWh × 0.606 kg CO₂e/kWh = 5.119488 kg CO₂e ≈ 5.12 kg CO₂e，換算後電動農機的碳排放約為 5.12 kg CO₂e。以可連續行駛 4 hr 10 min 之續航時間估算(4 hr 10 min = 4.1667 hr)，每小時碳排放 = 5.119488 kg CO₂e ÷ 4.1667 hr = 1.2287 ≈ 1.23 kg CO₂e/hr。以鼓風、噴霧與行駛均開啟之連續運轉 1 hr 51 min 估算(1 hr 51 min ≈ 1.85 hr)，每小時碳排放 = 5.119488 kg CO₂e ÷ 1.85 hr = 2.7673 ≈ 2.77 kg CO₂e/hr。

電動化與傳統燃油式鼓風噴霧機在相同的作業時間、面積與耕作效率下，估算之碳排放量，以農業用電排碳係數 0.606 kg CO₂e/kWh 計算，電動農機滿充電量一次之碳排放約 5.12 kg CO₂e。以車輛行駛作業可連續運轉 4 hr 10 min，折算電動每小時碳排 1.23 kg CO₂e/hr。相較於傳統柴油農機之 14.94 kg CO₂e/hr，每小時碳排減少 13.71 kg CO₂e，減幅 91.77 %。以鼓風、噴霧與行駛均開啟之作業，可連續運轉 1 hr 51 min，折算電動每小時碳排 2.77 kg CO₂e/hr。相較於傳統柴油農機之 14.94 kg CO₂e/hr，每小時碳排減少 12.17 kg CO₂e，減幅 81.45 %。

五、行走動力源之噪音測定

依據勞動部職業安全衛生設施規則第 300 條附表之規定(勞動部，2024)，對於人員暴露於超過 90 分貝之噪音場域中，應除去該危害因子，採取使用代替物、改善作業方法或工程控制等方式，減少人員暴露於噪音之時間，使噪音之日時量(工作日八小時)不超過規範，並包含任何時間不得暴露於峰值超過 140 分貝之衝擊性噪音、115 分貝之連續性噪音，對於日時量之平均音壓級超過八十五分貝，均應進行噪音減量之具體作為，例如配戴防音防護具。

鼓風噴霧機之行走動力源柴油引擎與電動化馬達均設置於駕駛者座位正後方，噪音計擺放位置放置於駕駛者座位之位置，以及採行機具運轉的模式下，測定在怠速或運轉下之分貝數。經試驗結果顯示，柴油引擎在怠速時之分貝數為 100.5 dB、運轉時之分貝數達 112.7 dB，已屬於極高的噪音值，人員長期作業下已達到聽力危害之閾值。經電動化施作後，在電動馬達怠速時之分貝數為 0 dB、運轉下之分貝值為 81.6 dB。

因工作環境之噪音屬於身心健康重要項目之一，噪音的測量單位是分貝值(dB)。物理意義中，噪音每增加 10 分貝，感知之聲音增加一倍，聲音強度增加十倍。因此，從柴油引擎運轉分貝的 112.7 dB 降低至 81.6 dB，實際的音壓(Sound Pressure)降低達百倍，電動農機提供之體感和聽力保護遠優於柴油引擎，提供良好舒適的工作環境，有助於降低駕駛之作業疲勞、職傷與減少碳排放等多重優勢。

六、最小轉向半徑與顛簸路面行走結構測試

農機具常使用在田地、山坡等的崎嶇地形上環境作業，存在顛簸和不平的地面，顛簸路面測試以驗證農機具是否穩定運作於顛簸路面，為性能測試的重要關鍵環節之一，特別是對於農機和越野車輛，其目的是驗證車輛在惡劣路況下的可靠性、耐用性和安全性。農機具在顛簸路面測試的以確保農機具的性能、耐用性和安全性具有關鍵意義。顛簸路面對於農機具的零組件結構具有較大之應力，通過測試可提前發現設計中可能存在的問題，如懸吊系統、車架、底盤或結構部件是否存在強度不足，附屬設備是否有過早損壞或脫落的風險，透過測試驗證作為強化機具結構的參考依據。

測試項目為機具在滿載狀態下，以機具的最高速之 1/3 速度、最高車速之 2/3 速度進行測定，經前述測定之機具最高車速為 18.1 km/h，其 1/3 的車速為 6.03 km/h、2/3 的車速為 12.07 km/h。測定崎嶇路面通行與機具結構穩定，以最高速之 1/3 與 2/3 車速行進通過三個路面顛簸突起物，經試驗結果顯示結構無斷裂及破損情形，機體安定、無斷裂與破損，符合性能測定規範。

最小轉向半徑測定，以低速在平整路面連續轉向，量測左轉彎、右轉彎最小之轉彎半徑。經測定機具轉向之迴轉性能結果，最小轉彎半徑為左側迴轉 1.91 m、右側迴轉 1.93 m；結合四輪轉向配置，有利果園行列間的窄巷道掉頭。

結 論

本研究開發之全電動化鼓風式噴霧機，整機於操控、煞車、斜坡啟停與顛簸路面等行走測試均達成性能測定標準規範，四輪驅動、四輪轉向適合果園狹窄行列轉向之電動機具，行走、鼓風與噴霧三項作業項目均以獨立電動馬達驅動，滿電滿載下可連續運轉 4 小時 10 分鐘及續航距離 46 公里，以及水試紙附著有效噴施範圍寬度 9 公尺、高度 6 公尺，可滿足果園實際作業需求。電動化施作後機具之噪音已顯著改善作業舒適度。同時，碳排放減幅逾 90 %，大幅改善傳統燃油農機之高噪音、廢氣排放，改以低碳、低噪音、操作簡單與安全，擁有噴霧覆蓋均勻、機具續航充足等多面向成果，該機具可作為果樹園區植物保護作業之低碳高效平台，可提供產業嶄新與因應淨零減碳目標之具體可行方案。

本機具特色包含採用四輪驅動與四輪轉向底盤，具備轉彎半徑 1.91 公尺之能力，適合果園等狹窄行列噴霧作業所需，因行進、鼓風、噴霧三系統各自由電動馬達操作，具有運作穩定且獨立可調，符合農業多樣化環境使用；電動化機具在滿載狀態下，行駛里程達 46 公里，可滿足田間長時間運轉，且噴霧範圍寬度 9 公尺、高度 6 公尺，霧化均勻，均符合植物保護作業要求；因應電動化發展趨勢，本機碳排放減幅 81.45 %，及噪音顯著降低至 81.6 分貝，相較傳統柴油燃油引擎大幅改善操作者聽力風險與作業舒適度，展現低碳、高效率與操作友善多優勢，並具備淨零應用潛力之電動農機發展成果。

誌 謝

本研究承蒙農業部科技計畫項下補助經費。試驗期間財團法人金屬工業研究發展中心金屬成形組團隊協助機具電動化工程設計與施作，以及農業機械研究室同仁劉志聰、李安心、賴碧琴、茆聰銘鼎力配合協助，方得以順利完成，謹此一併致謝。

參考文獻

1. 農業部。農業部氣候變遷調適及淨零排放專區。農業淨零資訊網。
<https://agrinetzero.moa.gov.tw/>。
2. 行政院。臺灣 2050 淨零排放。
<https://www.ey.gov.tw/Page/5A8A0CB5B41DA11E/7a65a06e-3f71-4c68-b368-85549fbc a5d1>。
3. 農業部。農業淨零介紹(農業部門 2040 達成淨零排放目標)。農業淨零資訊網。
https://agrinetzero.moa.gov.tw/zh-TW/KnowFarmNetZero/Intro?utm_source=chatgpt.com。
4. 行政院國家永續發展委員會。臺灣 2050 淨零排放路徑。
https://ncsd.ndc.gov.tw/Fore/nsdn/about0/2050Path?utm_source=chatgpt.com。
5. 國家發展委員會、行政院環境保護署、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。
https://service.moea.gov.tw/EE514/tw/geipc/138-1744.html?utm_source=chatgpt.com。
6. 經濟部能源署。2022。111 年度電力排碳係數。
https://www.moeaea.gov.tw/ecw/populace/content/ContentDesc.aspx?menu_id=23142。
7. 產品碳足跡資訊網。2023。產品碳足跡資訊網。<https://cfp-calculate.tw/>。
8. 經濟部能源署。2024。燃料燃燒之二氧化碳排放量統計與分析。
https://www.moeaea.gov.tw/ecw/populace/content/wHandMenuFile.ashx?file_id=16881
9. 經濟部能源署。2024。溫室氣體-113 年度電力排碳係數。
https://www.moeaea.gov.tw/ecw/populace/content/SubMenu.aspx?menu_id=114。
10. 農業部農業試驗所。2009。農機具性能測定報告 No.305 金超耘牌 A12 型樹枝打碎機。中華民國九十八年九月。
https://www.tari.gov.tw/df_ufiles/Engineering/No.305_%E9%87%91%E8%B6%85%E8%80%98%E7%89%8CA12%E5%9E%8B%E6%A8%B9%E6%9E%9D%E6%89%93%E7%A2%8E%E6%A9%9F.pdf
11. Klanfar, M., Korman, T., & Kujundžić, T. 2016. Fuel consumption and engine load factors of equipment in quarrying of crushed stone. *Tehnički vjesnik – Technical Gazette*, 23(1), 163–169. <https://doi.org/10.17559/TV-20141027115647>.
12. Al-Sager, S. M., Almady, S. S., Marey, S. A., Al-Hamed, S. A., & Aboukarima, A. M.

13. 2024. Prediction of specific fuel consumption of a tractor during the tillage process using an artificial neural network method. *Agronomy*, 14(3), 492.
<https://doi.org/10.3390/agronomy14030492>.
14. Friso, D. 2014. Brake thermal efficiency and BSFC of diesel engines: Mathematical modeling and comparison between diesel oil and biodiesel fueling. *Applied Mathematical Sciences*, 8(130), 6515–6528. <https://doi.org/10.12988/ams.2014.46444>.
15. Aurecon Australasia Pty Ltd. 2023. *Attachment H: Greenhouse Gas Emissions Impact Assessment – Melbourne Airport Jet Pipeline Project* (Rev. 4, Ref. 521511). Prepared for Viva Energy Australia.
16. 勞動部。2024。職業安全衛生設施規則(113年08月01日修正)。
<https://laws.mol.gov.tw/FLAW/FLAWDAT0201.aspx?id=FL015021>。

Development and Performance Testing of Electric Blower Sprayers¹

Chin-Yuan Chang^{2*}, Chia-Wei Chang², Chun-Chieh Chiu³
and Yu-Ting Lin³

ABSTRACT

To advance Taiwan's 2040 net-zero agriculture target, this study develops a fully electric air-blast orchard sprayer that satisfies relevant performance testing specifications while addressing the dual needs of carbon reduction and labor savings in air-blast spraying operations. The vehicle employs independent electric drives rated at 7.2 kW (traction), 3 kW (spray pump), and 3 kW (air-blast blower) on a four-wheel-drive/four-wheel-steer (4WD/4WS) chassis. The minimum turning radius is 1.91 m (left) and 1.93 m (right). After a six-hour full charge and at full payload, the machine - 280 cm × 125 cm × 138 cm (length × width × height), curb mass 980 kg, gross mass 1,290 kg - demonstrated continuous operation for four hours and 10 min with a measured cumulative travel distance of 46.1 km. Continuous travel tests for air-blast and spraying operations were conducted at two vehicle-speed bands, 15-16 km·h⁻¹ and 6-10 km·h⁻¹. Independent testing verified compliance with the applicable performance specifications for braking distance, grade/terrain mobility, and rough-road operation. Under an effective spray width of 9 m and height of 6 m, water-sensitive paper deposition uniformity met the specified requirements for spray performance. The primary contribution of this work lies in its environmental benefits. Relative to conventional fuel-powered equipment, the electric sprayer reduces carbon emissions by at least 81.45 %, and the operating sound pressure level is 81.6 dB. Overall, the developed electric air-blast sprayer exhibits stable performance, a low carbon footprint, and reduced acoustic emissions, providing a sustainable, high-performance mechanization option

¹Contribution No. 1110 from Taichung DARES, COA.

²Associate Researcher, Assistant Researcher of Taichung DARES, COA.

³Engineer and Engineer of Metal Industries Research & Development Centre (MIRDC).

*Corresponding author: Chin-Yuan Chang, Email: changcy@tcdares.gov.tw

for domestic orchards and furnishing strong evidence that electrification is a key pathway for achieving net-zero transformation in agriculture.

Keywords: agricultural machinery, electric agricultural machinery, performance measurement, air blast spray